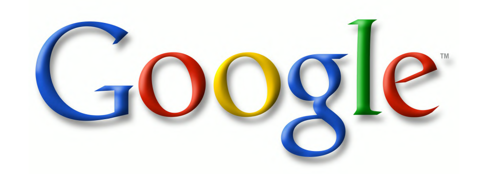
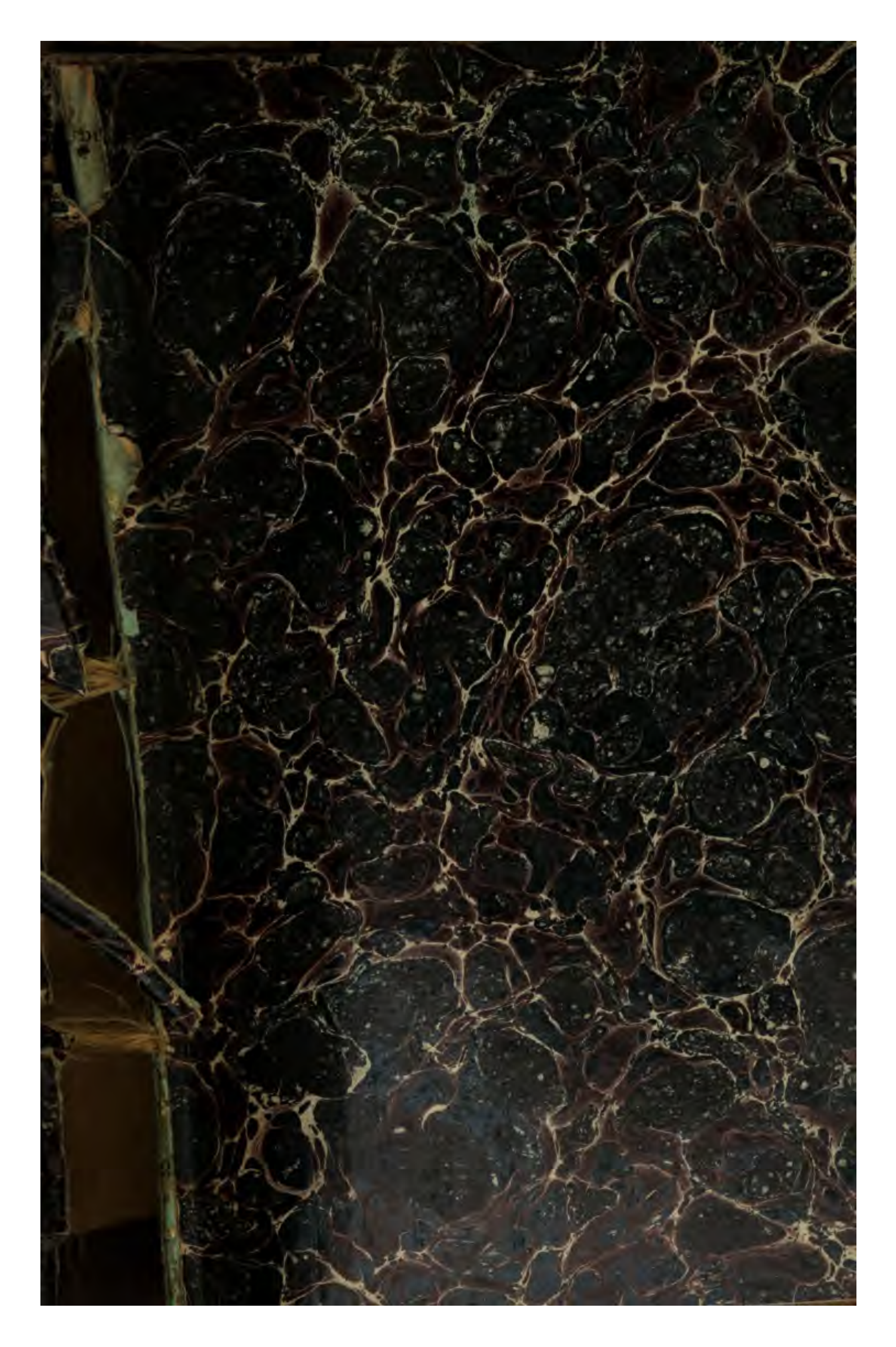



1837
ARTES
SCIENTIA
VERITAS
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE



ANNALEN

DER

PHYSIK UND CHEMIE.

BAND CXXIII.

ANNALEN

DER

PHYSIK

UND

CHEMIE.

FÜNFTE REIHE.

HERAUSGEGEBEN ZU BERLIN

VON

J. C. POGGENDORFF.

DRITTER BAND.

NEBST DREI FIGURENTAFELN.

LEIPZIG, 1864.

VERLAG VON JOHANN AMBROSIUS BARTH.

ANNALEN
DER
PHYSIK
UND
CHEMIE.



HERAUSGEGEBEN ZU BERLIN

VON

J. C. POGGENDORFF.

HUNDERT DREIUNDZWANZIGSTER BAND.

DER GANZEN FOLGE HUNDERT NEUNUNDNEUNZIGSTER.

NEBST DREI FIGURENTAFELN.

LEIPZIG, 1864.

VERLAG VON JOHANN AMBROSIUS BARTH.

I n h a l t

des Bandes CXXIII der Annalen der Physik und Chemie.

Erstes Stück.

(*Geschlossen am* 17. *October* 1864.)

Zweites Stück.

Drittes Stück.

Viertes Stück.

(*Geschlossen am* 30. *December* 1864.)

Nachweis zu den Figurentafeln.

Berichtigungen.

Zum Aufsatz von C. Jessen, Bd. 122.

S. 484 lies: Unser Verfasser hat sicherlich, statt Dieser Verfasser hat sich

Zum Aufsatz von A. Krönig, Bd. 122.

S. 172 Z. 8 v. u. lies: Neigen, statt Steigen
S. 595 Z. 18 v. u. lies: dieselbe, statt die
S. 596 Z. 1 v. u. lies: zu leisten, statt geleistet
S. 598 Z. 5 v. u. lies: neun, statt neuen
S. 600 Z. 11 v. o. lies: nicht offenen, statt offenen
S. 600 Z. 16 v. u. lies: Dennoch, statt Demnach
S. 601 Z. 2 v. u. lies: der Reihe nach rückwärts, statt rückwärts

Zum Aufsatz von W. v. Bezold, Bd. 123.

S. 275 Z. 5 v. u. lies: 4° 20′, statt 5° 20′

1864. ANNALEN № 9.
DER PHYSIK UND CHEMIE.
BAND CXXIII.

I. *Untersuchungen über die Abänderungen der elektromotorischen Kräfte durch die Wärme; von Dr. Franz Lindig.*

Obgleich sich über das Wesen der elektrischen Spannkraft vielfach streiten läfst, so kann doch darüber wohl schwerlich ein Zweifel herrschen, dafs sie mit der molecularen Constitution der Elektromotoren in engem Zusammenhange steht. Es scheint daher die Vermuthung nicht ungerechtfertigt, dafs die elektromotorische Kraft von solchen Umständen nicht unabhängig sey, welche ihrerseits den Zustand der Materie bedingen; und es läfst sich demnach sehr wohl voraussetzen, dafs sie unter Anderem auch zur Temperatur — etwa in ähnlicher Weise wie der Magnetismus zur Wärme — in naher Beziehung stehe und mit derselben nach irgend einem Gesetze sich ändere. Eine derartige Abänderung der elektrischen Spannkraft mit der Temperatur der Erreger ist indessen bisher durch das Experiment noch nicht festgestellt worden; es hat sich vielmehr durch die versuchten Nachweise das scheinbare Resultat der vollkommenen Constanz ergeben. Dabei darf man jedoch nicht übersehen, dafs die in dieser Hinsicht angestellten Versuche nur in geringer Zahl vorliegen.

Meines Wissens sind es überhaupt nur Peclet, Petruchefsky und Poggendorff gewesen, die derartige Versuche und zum Theil nur ganz beiläufig, angestellt haben. Die des Erstern (*Ann. de chim. et phys. T. III p.* 233) sind überdiefs nur mit Hülfe eines Elektroskopes an der ungeschlossenen einfachen Kette und zwar in der Weise

angestellt, dafs in eine Zinkschale zuerst kalte und hernach siedende Schwefelsäure hineingethan und jedesmal die elektrische Spannung nach den Ausschlägen der divergirenden Goldblättchen berechnet wurde. Auf diese Weise ergab sich allerdings kein Unterschied der elektrischen Spannkraft des Zinks und der kalten Schwefelsäure vor der des Zinks und der warmen Schwefelsäure. Denn es blieb der Ausschlagswinkel in beiden Fällen derselbe. Man mufs indessen bemerken, dafs das angewendete Mefsinstrument ein gewöhnliches Goldblattelektroskop war und keine grofse Genauigkeit und Schärfe der Versuche gestattete. Aus den von Peclet am angeführten Orte angegebenen Zahlenwerthen ergiebt sich nämlich, dafs er eine Aenderung der Spannkraft nur dann zu messen im Stande war, wenn sie mehr als $\frac{1}{31}$ der Gesammtwirkung betrug, und es bleibt also noch immer die Möglichkeit offen, bei Anwendung von empfindlicheren Apparaten eine jenseits dieser Gränze liegende Abänderung nachzuweisen. Auch wäre es überdiefs sehr wohl denkbar, dafs sich andere Metalle und andere Flüssigkeiten anders verhielten als Zink und Schwefelsäure, und eine für das Elektroskop erkennbare Aenderung bei Zufuhr von Wärme wahrnehmen liefsen, und es wäre also durchaus nothwendig, dafs man dieselben Versuche mit andern elektrischen Erregern anstellt. Peclet hat indessen seine Versuche nicht weiter auf andere Metalle und Flüssigkeiten ausgedehnt, und so möchte denn aus dem vereinzelt dastehenden Ergebnifs noch kein allgemeines Resultat herzuleiten seyn.

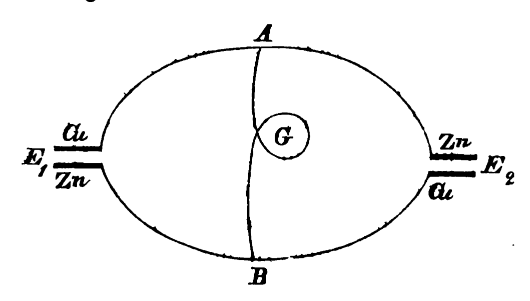
In gleicher Weise entbehren aber auch die Beobachtungen von Petruschefsky (*Bulletin de St. Petersburg T. XV, p.* 336), welcher die elektromotorische Kraft des Daniell'schen Elementes zwischen den Gränzen von + 3° und + 70° R. constant gefunden haben will, einer eigentlichen Beweiskraft gegen die Abänderung. Petruschefsky beschränkt sich nämlich blos auf die Angabe jenes Resultats, ohne die Art und Weise, wie er zu demselben gelangte, näher anzugeben; nur das geht aus dem übrigen

Inhalte der Arbeit, in welcher er seine beiläufigen Untersuchungen veröffentlicht, mit Sicherheit hervor, dafs er die elektromotorische Kraft nach der Fechner'schen Methode bestimmte; im Uebrigen fehlt uns aber bei seinen Angaben ein nöthiger Anhaltspunkt und Maafsstab, um die Zulänglichkeit und Sicherheit derselben bemessen zu können.

Weit sachgemäfser, so wie auch einfacher, erscheint dagegen das Verfahren, dessen sich Poggendorff bedient hat, um die Abhängigkeit der elektromotorischen Kraft von der Temperatur der Erreger zu untersuchen. Dieser schlofs (Pogg. Ann. Bd 50, S. 264) zwei gleiche galvanische Ketten von Kupfer und amalgamirtem Zink in Kochsalzlösung oder verdünnter Schwefelsäure einander entgegen und führte in den Schliefsungsbogen ein empfindliches Galvanometer ein. Wie zu erwarten stand, zeigte diefs bei wirklich gleicher Beschaffenheit der Elemente keinen Ausschlag. Während nun ein Tropfen Säure zu dem einen derselben hinzugethan, sofort eine Ablenkung der Nadel zur Folge hatte, mithin die elektromotorische Kraft abänderte, blieb dieselbe bei der Erwärmung der einen Kette bis zur Siedehitze der Flüssigkeit in der Ruhelage. Poggendorff schlofs daraus, dafs die Temperatur keinen merkbaren Einflufs auf die elektromotorische Kraft der Hydroketten ausübe, wenigstens solcher, worin kein Contact heterogener Metalle stattfindet. Man hat allerdings keinen Grund einen Zweifel in die Beobachtungen eines Physikers, wie Poggendorff, zu setzen. Dennoch schien es wünschenswerth diesen Gegenstand von Neuem zu untersuchen und ich bin Hrn. Prof. Magnus zu grofsem Danke verpflichtet, dafs er mir die erforderlichen Versuche in dem von ihm geleiteten Laboratorium auszuführen gestattet hat.

Von den verschiedenen Arten die elektromotorischen Kräfte zu bestimmen, schien mir für die fragliche Untersuchung die von Bosscha abgeänderte Poggendorff'sche Compensationsmethode, obwohl sie keine absoluten Werthe liefert, dennoch ausreichend und bequem — ausreichend insofern es mir nur auf die relative Gröfse einer

etwaigen Veränderung der elektromotorischen Kraft ankam, bequem insofern sie bei beliebiger Genauigkeit die Winkelmefsinstrumente entbehrlich machte. Bekanntlich besteht diese Methode darin, dafs man zwei constante Elemente, welche man mit einander vergleichen will, in demselben Sinne in einen Stromkreis einschaltet, denselben durch einen Brückendraht mit einem Galvanometer verbindet und diesen so lange verschiebt, bis die Nadel aus ihrer anfänglichen Ruhelage nicht mehr verrückt wird.



Bezeichnet dann i die Intensität und w den Widerstand des Brückendrahtes, und sind die beiden Elemente E_1 und E_2 mit den elektromotorischen Kräften ε_1 und ε_2 in der angegebenen Weise durch den Schliefsungsbogen $E_1 A E_2 B$ und den Draht AB verbunden und sind ferner ω_1 und ω_2 und i_1 i_2 die bezüglichen Widerstände und Intensität der Leiter AE_1B und AE_2B, so bestehen nach den Kirchhoff'schen Sätzen die Gleichungen:

$$i + i_1 = i_2;\ \varepsilon_1 = i_1\omega_1 + i\omega;\ \varepsilon_2 = i_2\omega_2 + i\omega.$$

Es ist aber $i = 0$, mithin folgt:

$$i_1 = i_2;\ \varepsilon_1 = i_1\omega_1;\ \varepsilon_2 = i_2\omega_2 = i_1\omega_2$$

also

$$\varepsilon_1 : \varepsilon_2 = \omega_1 : \omega_2 \text{ oder } \varepsilon_1\omega_2 = \varepsilon_2\omega_1.$$

Schaltet man nun an einer beliebigen Stelle von AE_1B einen Widerstand a ein und ebenso an einer Stelle von AE_2B einen andern Widerstand b, der so im Verhältnifs zu a beschaffen ist, dafs wiederum kein Strom durch den Brückendraht AB geht, so folgt auf ganz dieselbe Weise, wie vorhin:

$$\varepsilon_1 (\varepsilon_2 + b) = \varepsilon_2 (\omega_1 + a).$$

Wie man sieht, ergiebt sich leicht aus den beiden gefundenen Relationen zwischen ε_1 und ε_2 die Endgleichung

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_1 \frac{b}{a}.$$

Meine Versuche stellte ich nun nach dieser Methode unter Anwendung Daniell'scher Elemente an, da diese, wie es erforderlich war, von der Polarisation frei sind. Ich stellte zwei solche Elemente E_1 und E_2, in deren äufsern und inneren Zellen Thermometer standen und deren elektromotorische Kräfte ε_1 und ε_2 waren, in kleine Wasserwannen und führte einen Schliefsungsbogen von mäfsig grofsem Widerstande ein. Um in demselben eine möglichst bequeme Einschaltung der betreffenden Widerstände a und b vornehmen zu können, bediente ich mich eines einfachen Rheochords Fig. 1 Taf. I, den ich mir zu diesem Zwecke dadurch herstellte, dafs ich auf einem schmalen mit Millimeter-Eintheilung versehenen Brettchen zwei sehr feine gleichmäfsig gezogene Platindrähte AB und CD parallel ausspannte und auf sie zwei beweglich parallelepipedische Holzklötzchen F und G mit Platin-Belegung und mit Klemmschrauben setzte. Die beiden Drähte AB und CD hingen überdiefs mit den beiden Enden A und C zusammen, während von den Klötzchen F und G Leitungen nach zwei ungleichnamigen Polen der Elemente K_1 und Z_2 führten, deren beide andere Pole K_2 und Z_1 gleichfalls durch einen Draht $Z_1 HK_2$ verbunden waren. Auf diese Weise waren die beiden Ketten vollkommen geschlossen und, wie man sieht, in demselben Sinne in den Stromkreis eingeschaltet. Um daher die für die Bosscha'sche Methode erforderliche Verbindung der beiden Elemente ganz herzustellen, brauchte ich blos das eine Ende eines Galvanometerdrahtes nach einem Punkte L der Leitung AC; das andere dagegen nach einem Punkte H der Leitung $Z_1 K_2$ zu führen.

Nach den Untersuchungen von Petruschefsky ist bekannt, dafs selbst die constanten Ketten bei anhaltender Dauer des Stromes ohne äufseres Zuthun allmählich abän-

dern. Bei der Daniell'schen Kette ist das allerdings noch am wenigsten der Fall, indessen läfst sich doch auch an dieser nach einiger Zeit ein Schwanken beobachten. Um diesem Uebelstande, soweit wie möglich zu begegnen, brachte ich in der angegebenen Verbindung einen Stromunterbrecher an, vermittelst dessen die Leitungen, sowohl die durch *HC* als auch die durch *HK*, jeden Augenblick unterbrochen oder wiederhergestellt werden konnten.

Auf diese Weise war ich in Stand gesetzt, die Elemente immer nur auf Augenblicke wirken zu lassen, also jegliche Aenderung der elektromotorischen Kraft durch unnöthigen Gebrauch gänzlich zu vermeiden und ich konnte mithin sicher seyn, die letztere von Unregelmäfsigkeit ziemlich frei gemacht zu haben, sehr geringe Zufälligkeiten etwa abgerechnet, die das durch die Thonzelle allmählich vor sich gehende Durchdringen der Flüssigkeiten zur Folge hatte.

Bei der Bestimmung der elektromotorischen Kräfte der Elemente mit denen ich manipulirte, und deren Temperaturen sorgfältig beobachtet und notirt wurden, verfuhr ich nun in der Weise, dafs ich die Holzklötzchen *F* und *G* zuerst an dem einen und hernach an dem andern Ende des Reochords so einstellte, dafs durch das Galvanometer in keinem Falle ein Strom ging: aus den an der Scale abgelesenen Längen der eingeschalteten Drähte, denen die Widerstände direct proportional sind, ergab sich dann zu Folge der Formel $\varepsilon_2 = \varepsilon_1 \frac{b}{a}$ die eine elektromotorische Kraft durch die andere unmittelbar ausgewerthet. Untersuchte ich nun die Spannkräfte zu verschiedenen Zeiten, so fand ich, wenn die Verbindung inzwischen aufgehoben war, bei unveränderter Temperatur der beiden Ketten fast immer ganz gleiche Werthe für das Verhältnifs $\frac{b}{a}$. Wurde dagegen das eine Element E_2 erwärmt oder abgekühlt — durch siedendes Wasser oder gestofsenes Eis in der umgebenden Wanne — so ergab sich sofort bei erneuter Be-

stimmung für $\frac{b}{a}$ ein von dem früheren differirender Werth. Natürlich ging die Erwärmung oder Abkühlung durch das Glasgefäfs, die Kupfervitriollösung und die Thonzelle bis zur verdünnten Schwefelsäure nur langsam vor sich, so dafs ich dadurch in Stand gesetzt war, die elektromotorische Kraft ε_2 bei den verschiedenen Temperaturen des Elementes E_2 zu bestimmen. Ich hatte dabei zu gleicher Zeit Gelegenheit, die etwaige Wirkung kennen zu lernen, welche eine ungleichmäfsige Erwärmung der beiden Flüssigkeiten zur Folge hatte. Es ist diefs ein höchst wichtiger Punkt, über den indessen die in Frage stehenden Untersuchungen noch nicht zu einem vollkommen sichern Resultate führen konnten. Es stellte sich nämlich so lange die Temperatur in beiden Zellen verschieden und der Wärmezustand kein stationärer geworden war, der Beobachtung eine doppelte Schwierigkeit in den Weg. Denn da in diesem Falle der Widerstand in der Kette fortwährend abänderte, so war einerseits die Nadel schwer zum Einstehen zu bringen; anderseits war aber auch das w_2, während einer Bestimmung von ε_2 nicht genau dasselbe, konnte also auch nicht aus den beiden Formeln

$$\varepsilon_1 w_2 = \varepsilon_2 w_1 \quad \text{und} \quad \varepsilon_1 (w_2 + b) = \varepsilon_2 (w_1 + a)$$

eliminirt werden. Um aber dennoch trotz der sich darbietenden Schwierigkeiten ein wenigstens annäherndes Resultat zu gewinnen, stellte ich die Bestimmung von ε_2, bei der ein im Laboratorium des Hrn. Prof. Magnus beschäftigter Freund — Hr. Dr. Zehnder — hülfreiche Hand leistete, so an, dafs die Holtzklötzchen zuerst am Anfange dann am Ende und hierauf nochmals am Anfange der Scale bis zur Ruhelage der Nadel eingestellt wurden. Je weniger Zeit während dieser ganzen Manipulation verstrich, je weniger sich also während derselben die Temperaturen und der Widerstand veränderten, um so genauer stimmten dabei die bei der ersten und dritten Ruhelage der Nadel erhaltenen Werthe der Scalentheile mit einander überein.

Für die Rechnung wählte ich aber als sicherste Werthe die sich als Mittel ergebenden.

Von den auf die beschriebene Art und Weise in grofser Anzahl angestellten Beobachtungen will ich nur einige wenige in der folgenden Tabelle mittheilen. In dieser bezeichnen θ die Temperatur des Element E, t_a die äufsere und t_n die innere Temperatur des Elementes E_2 und β und α die Zahlen der Theilstriche, bei denen die Holzklötzchen eingestellt werden mufsten, damit kein Strom durch das Galvanometer ginge. Die Gröfsen b und a die sich einfach aus den Differenzen der verschiedenen für β und α gefundenen Werthe ergeben, sind nicht besonders bemerkt; dagegen enthält die Rubrik unter ε_2 die elektromotorische Kraft von E_{II} bei den verschiedenen Temperaturen in Einheiten von $\varepsilon_1 = 100$ ausgedrückt:

I.

Θ	β	α	t_a	t_n	ε_2
19,7	11	10	19,7	19,7	
	910,6	910			100
	41,5	10			
	86,7	810	35,5	29	102,8
	46	10			
	47	10			
	946	890	36,6	37	102,3
	42	10			
	30	10	28,5	32,7	101,3
	942	910			
	20	10	25	29	
	923	910			100,3
	20	10			
	904	890	25	29	100,4

II.

Θ	β	α	t_s	t_n	ε_2
19	14	14,5	7	12	100,1
	963	963			
	954,8	960	7	9	100,1
	15	21			
	15	21	8,5	8,5	
	955	961			100,0
	15	22	36,5	34,5	
	963	935			104,0
	15	25	37	36	
	963	938			104,0
	15	24,5	37	37	
	963	940			103,6
	956	930			
	22	30			103,7
	948	940	19	21	
	15	32			102,7

III.

Θ	β	α	t_s	t_n	ε_2
20	20	62	20,8	20	
	934	970			101,2
	14	24	43	33	
	961	940			103,4
	14	28	44	40	
	965	950			103,2
	15	15	27	34	
	968	950			101,9
19	15	25			
	952	945	25	27	101,8
	15	26			

Θ	β	α	t_z	t_e	ε_2
19	953	945	24,8	26	
	15	26			102
	921	960	21	24	
	15	65			101,3
	921	960			
	15	66			

Schon eine oberflächliche Betrachtung vorstehender Ergebnisse zeigt, dafs die elektromotorische Kraft eines Daniell'schen Elementes im Allgemeinen mit der Temperatur zunimmt und sich bei Erniedrigung derselben verringert. Dabei ist es selbstverständlich, dafs die beobachtete Zunahme nicht blofs scheinbar ist und nicht etwa in einer bei der Erwärmung der Flüssigkeit auftretenden Verringerung des Leitungswiderstandes ihren Grund hat. Wenn sich bei der Erwärmung eines Elementes in dem Schliefsungsbogen eine gröfsere Stromintensität zeigt, so soll freilich dieselbe nach Petruschefsky's Ansicht allein von dem durch die Temperaturerhöhung verminderten Widerstand, nicht etwa von einer erhöhten elektromotorischen Kraft herrühren. An und für sich ist diefs möglich, da eine Erhöhung der Intensität i zu Folge der Ohm'schen Formel $i = \frac{\varepsilon}{w}$, ebensowohl von einer Zunahme der Kraft ε als von einer Abnahme des Widerstandes w bedingt seyn kann. In unserm Falle kommt diefs aber weiter nicht in Betracht, da die Kraft ε unabhängig von dem Leitungswiderstand und der Intensität nach der Bosscha'schen Methode bestimmt wird, insofern sich beide aus den betreffenden Gleichungen eliminiren.

In anderer Beziehung liefs sich jedoch das gegen die vorhin erwähnten Resultate einwenden, dafs die Flüssigkeit, wenn sie bei der Erwärmung in den beiden Zellen ansteigt mit neuen andersartigen Stellen auf der Oberfläche der Elektromotoren in Berührung komme, und dafs hierdurch die beobachtete Veränderung an der elektromotori-

schen Kraft veranlafst seyn könne. Es mufste jedoch in diesem Falle das Eintauchen eines indifferenten Körpers z. B. eines Glasstabes in die Flüssigkeit durch das bewirkte Ansteigen derselben eine gleiche Folge haben, was, wie leicht zu beobachten war, nicht stattfand. Man könnte überdiefs auf den Gedanken kommen, dafs durch die Erwärmung des Elementes Polarisation erzeugt werde, und dafs diese vielleicht jene Aenderungen in der elektromotorischen Kraft bedinge. Indessen würde die Polarisation jedenfalls dem primären Strome entgegenwirken und es müfste also Erwärmung eines Elementes Schwächung der Kraft zur Folge haben, was nicht der Fall ist. Dafs überdiefs im Daniell'schen Elemente bei nicht allzu grofser Erwärmung keine merkbare Polarisation auftrat, ergab sich im Uebrigen direct daraus, dafs die Kraft durch Schütteln des Elementes, wodurch jedenfalls die Polarisation geändert wäre, nicht influirt wurde.

Dabei darf man jedoch nicht übersehen, dafs die Spannkraft des Daniell'schen Elementes keine einfache, sondern vielmehr eine aus verschiedenen einzelnen zusammengesetzte ist. Wie bekannt wirken in demselben aufser der elektrischen Kraft von Zink gegen Kupfer die von Kupfer gegen Kupfervitriol und die von Zink gegen Schwefelsäure und zwar dergestalt, dafs sich jene von dieser als der gröfseren subtrahirt. Demnach können die Vorgänge die bei der beobachteten Zunahme der elektromotorischen Kraft statthaben, mehrfacher Art seyn, und es kann dieselbe eben sowohl durch eine Vergröfserung als auch durch eine Verringerung der einzelnen Spannkräfte zu Stande kommen. Denn bezeichnen wir die Kraft eines Daniell'schen Elementes mit ε, so erhalten wir die Gleichung:

$$\varepsilon = Zk / Cu + Zk / SO_3 - Cu / CuOSO_3$$

und wir sehen hieraus, dafs ε bei unverändertem Werthe von Zk / Cu wachsen würde, eben sowohl durch Vergröfserung des Minuendus Zk / SO_3 als auch durch Verminderung des Subtrahendus $Cu / CuOSO_3$. Woher nun aber beim Daniell'schen Element die Zunahme der Kraft in

Wirklichkeit rührt, läfst sich weder *a priori*, noch aus den vorstehenden Versuchen mit Sicherheit bestimmen. Indessen scheint doch wenigstens das aus letzteren hervorzugehen, dafs die Erwärmung von Schwefelsäure geringern Einflufs auf die Aenderung der Kraft ausübe als die der Kupfervitriollösung, und hieraus würde dann folgen, dafs jene Zunahme bei der Erwärmung vorzugsweise durch die Abnahme der Spannkraft von Kupfer und Kupfervitriol bedingt sey.

Um die Sache mit Sicherheit zu entscheiden, mufste ich von dem bisher eingeschlagenen Wege abgehen und sie nunmehr von einer andern Seite angreifen. Wie man sieht kam es darauf an, die Aenderung der betreffenden elektrischen Spannkräfte unter weniger complicirten Verhältnissen als beim Daniell'schen Elemente sichtbar zu machen, d. h. also die einzelnen elektromotorischen Kräfte zu sondern und für sich auf ihr Verhalten zur Wärme zu untersuchen. Ich ging zu dem Ende von der Spannkraft von Kupfer und Kupfervitriol aus und zwar in der Weise dafs ich zwei Glasgefäfse, welche sich in Luftbädern befanden und deren innere Temperatur durch eingeführte Thermometer bestimmt werden konnte, mit Kupfervitriol anfüllte und durch ein zweimal gebogenes Heberohr in Verbindung setzte, und dafs ich dann in sie zwei Kupferdrähte durch Korke hineinleitete. Verband ich nun die Drähte mit den Enden eines Galvanometerdrahtes, so durfte der Theorie nach die Magnetnadel, falls die Elektromotoren wirklich gleichartig waren, keine Ablenkung zeigen. Es waren nämlich in diesem Falle, die in dem Schliefsungsbogen vorhandenen elektromotorischen Kräfte einander gleich und wirkten einander entgegen. Im Allgemeinen war es jedoch schwer zwei vollkommen gleiche Kupferdrähte herzustellen, da schon ein geringer Unterschied in der Härte oder eine geringe Spur von Oxydschicht der einen elekmotorischen Kraft das Uebergewicht über die andere verschaffte. Aus diesem Grunde zeigt sich in der Regel beim Schliefsen der Kette ein Strom von geringer Intensität in

dem Galvanometer, falls es sehr empfindlich war. Für die nachfolgenden Untersuchungen benutzte ich nun ein Wiedemann'sches Spiegelgalvanometer mit 12,000 Windungen und magnetisirtem Spiegel, dessen Ablenkungen durch ein 2,5^m entferntes Fernrohr an einer Scale mit Millimetertheilung abgelesen wurde. Für geringere Ausschläge wurde die Intensität des ablenkenden Stromes der Anzahl der Scalentheile, um welche der Spiegel abgelenkt ward, proportional gesetzt; für gröfsere Abweichungen (über 400^{mm}) dagegen den Tangenten derselben.

Wenn die im vorhergehenden angegebene einfache Kupfer-Kupfer-Kette längere Zeit geschlossen gewesen war, so dafs der etwa vorhandene geringe Strom constant geworden, so wurde das eine Luftbad langsam erhitzt, während das andere bei gleicher Temperatur blieb. Es zeigte sich in diesem Falle sofort ein Strom von bedeutender, allmählich zunehmender Intensität, welcher scheinbar mit der Temperatur proportional wuchs. Was die Richtung desselben anbelangte, so ergab sich nach der Ampére'schen Regel, dafs die positive Elecktricität vom kalten Kupfervitriol durch das Heberohr nach dem warmen strömte. Nun ladet sich aber, wie Kohlrausch am Elektrometer nachgewiesen hat, wenn Kupfer mit Kupfervitriol in Berührung gebracht wird, ersteres mit negativer, letzteres mit positiver Elektricität. Bezeichnen wir also die Gröfse der bei der Berührung beider Körper freiwerdenden Elektricität (Fig. 2 Taf. I) mit e so ist die elektrische Ladung in der obigen Kette, so lange der Zustand der beiden Berührungsstellen ungeändert bleibt, an den Metallen $-e$, in der Flüssigkeit $+e$ und es kann daher keine stationäre Strömung der Elektricitäten stattfinden. Sobald indessen die eine der beiden Berührungsstellen der Metalle und Flüssigkeiten z. B. B erwärmt wird, so wird sich im Allgemeinen in Folge davon die daselbst auftretende Spannkraft vergröfsern oder verringern, d. h. es wird die elektrische Ladung der Flüssigkeit bei B, $(+e)+x$ oder $(+e)-x$ und die des Metalles bei B, $(-e)+x$ oder $(-e)-x$. Bei der Erwärmung

von *B* indicirte aber, wie oben angführt ist, das Galvanometer eine Strömung einer positiven Elektricität von *A* durch das Heberohr nach *B*. Diefs kann aber nur dann der Fall seyn, wenn bei *B* weniger positive Elektricität vorhanden ist als bei *A*. Weil nun aber bei *A* nichts geändert, folglich auch die dort vorhandene positive Elektricität nicht vermehrt ist, so mufs die bei *B* auftretende positive Elektricität vermindert, mithin die elektromotorische Kraft durch das Erwärmen geschwächt seyn.

Um nun die Gröfse dieser Verminderung festzustellen, kam es zuerst darauf an, sie in irgend welchen Einheiten auszudrücken. Zu diesem Zwecke wurde diejenige Stromintensität als Einheit angenommen, welche den Spiegel bei der obengenannten Stellung des Fernrohres um die Gröfse eines Scalentheiles ablenkte; als Einheit des Leitungswiderstandes dagegen der Widerstand der ganzen Schliefsung, welchen ich so grofs machte, dafs die Erwärmung der flüssigen Leitung keinen abändernden Einflufs ausübte.

Ich lasse jetzt einige Beobachtungen folgen, aus denen ersichtlich ist, wie durch die Erwärmung des Poles *B* die Intensität und mithin auch die sie erzeugende elektromotorische Kraft in der beschriebenen einfachen Kette ansteigt, wobei ich nochmals besonders darauf aufmerksam mache, dafs jene elektromotorische Kraft die Differenz der beiden in der Schliefsung vorhandenen sich entgegenwirkenden Spannungen ist, von denen die eine bei *A* unverändert bleibt, die andere bei *B* dagegen fortwährend abnimmt.

In nachstehender Tabelle bezeichnete: *R* die Scalentheile, welche man vor, und *i* die, welche man nach der Schliefsung des Stromes durch das Fernrohr ablas; t_a und t_b die Temperaturen der Berührungsstelle von Kupfer und Kupfervitriol und ε_Δ die durch die Erwärmung von *B* bewirkte Abnahme der daselbst vorhandenen Spannkraft von Cu / CuOSO$_3$, wobei zu bemerken, dafs ε_Δ den Intensitäten proportional gesetzt ist.

I.

R	i	t_a	t_b	t_Δ
515	517	14	14	2
	520		20	5
	529		25	14
	535		29	20
	540		31	25
	545		34	30
	546	15	35	31
516	560		41,5	44
	570		46,7	53
	575		50	59
	580		52	64
517	581		52	64
	583	16	53,25	66
	582		53	65
	580		52	63
510	585		57	75
	590		59,5	80
	630		77	120
	633		79,75	123
	631,5	16,5	79,5	121
	630		78,5	120
	635		80	125
	650		86,5	140
	660		91,25	150
	661		92	151
	658		91,7	148
	656		91	146
511	616		74	105
	615		72,5	104
	610		70	99
	588		46,0	77
	565		47,5	54
512	541	17	30	29
513	525		25	13

II.

R	i	t_a	t_b	Δ
514	520	16,75	16,75	6
	585		55	71
	588		»	74
	585		»	71
	590		60	76
	657		88	143
	640		80	126
	637		78	123
	630		75	116
	619		71,7	105
	612		68	98
	591		55	77
	577		51,7	63
	573		49	59
	570		47	56
	565		44	51
	547		34,5	33
	550		33	36

Die vorstehenden Versuche sind zwar mit möglichster Sorgfalt angestellt; aber dennoch ergeben sie keine ganz genauen Resultate, weil bei den Beobachtungen der Wirkung der Polarisation keine Rechnung getragen werden konnte. Es ist nämlich klar, dafs sobald bei der Erwärmung der einen Berührungsstelle von Kupfer und Kupfervitriol ein Strom auftritt, auch sofort die Polarisation sich zeigen wird; denn wie man sieht spielen die beiden Kupferstreifen in der angegebenen Verbindung nicht nur die Rolle der Erreger, sondern auch zugleich die der Elektroden, und während sich also an der erwärmten Kupferplatte metallisches Kupfer abscheidet, wird sich nothwendig an der nicht erwärmten Sauerstoff absetzen und dadurch einen dem primären entgegenwirkenden Strom erzeugen.

Allerdings ist die Polarisation an Kupferelektroden wie unter Andern du Bois-Reymond [1]) gezeigt hat, nur sehr

1) Monatsberichte, 1859, S. 460.

geringe, indessen ist sie doch nicht ganz verschwindend, und ziehen wir dieses in Betracht, so folgt, dafs die obigen Werthe von i im Allgemeinen zu klein seyn werden.

Ganz ähnliche Versuche, wie die mit Kupfervitriol und mit Kupferstreifen, stellte ich hierauf auch mit verdünnter Schwefelsäure und amalgamirtem Zink an. Hierbei ergab sich das überraschende Resultat, dafs eine Erwärmung fast gar keine Aenderung der Spannkraft zur Folge hatte. Die Versuche wurden mit verschiedenen Verdünnungen der Säure wiederholt, doch wurde auch hierdurch kein wesentlich anderes Resultat erzielt. Fast in allen Fällen wurde das amalgamirte Zink mehr oder weniger heftig von der Säure bei der Erwärmung angegriffen, und die sofortige Folge davon war, dafs es sich ganz und gar mit Bläschen überzog; wurden dann diese durch die bei der Erwärmung in Bewegung gerathende Säure abgelöst, so zeigte sich allerdings mitunter eine ganz plötzliche Aenderung in der elektromotorischen Kraft, die aber durchaus als von zufälliger Natur erschien. Ueberdiefs war sie in den meisten Fällen sehr geringe und bei weitem nicht so bedeutend, wie die bei dem Kupfervitriol beobachtete.

Weit günstiger stellten sich die Beobachtungen dar, als ich die Schwefelsäure in meinem einfachen Elemente durch Zinkvitriollösung ersetzte. Auch fiel hier der grofse Uebelstand weg, welcher beim Kupfer und Kupfervitriol störend war, nämlich die Polarisation.

Wie Regnault und Matteucci [1]) nämlich zuerst nachgewiesen haben, tritt an amalgamirten Zinkelektroden in einer Zinkvitriollösung durchaus keine Polarisation auf. Die aus den beobachteten Intensitäten abgeleiteten Werthe der elektromotorischen Kräfte waren daher in diesem Falle ganz genau und sicher, und es liefs sich deshalb an ihnen die interessante Frage entscheiden, ob die Veränderungen der Spannkraft denen der Temperatur in aller Strenge proportional waren. Was zunächst den Sinn dieser Aenderung der Spannkraft bei Erhöhung der Temperatur anbelangte,

1) *Compt. rend. T. XLIII, p.* 234 und *T. XXXVIII, p.* 891.

so ergab sich dieser, da der positive Strom wiederum beim Erwärmen der einen Berührungsstelle von der nicht erwärmten durch das Heberrohr zum erwärmten ging durch eine ganz ähnliche Deduction, wie beim Kupfer und Kupfervitriol als genau derselbe.

Es werden nun die nachstehenden Versuchsreihen einen Begriff von der Gröfse der Abänderungen der elektromotorischen Kraft von Zink gegen Zinkvitriol geben und zugleich zeigen, wie sich dieselbe zur Wärmezunahme verhält.

Es ist aber klar, dafs wenn die Abnahme der Kraft der zugeführten Wärme proportional ist, dafs dann die Einheiten ersterer dividirt durch die Einheiten letzterer stets denselben Quotienten ergeben müssen. Dafs diefs in Wirklichkeit der Fall ist, werden die in der Columne Q berechneten Werthe jener Quotienten ausweisen. Da nun bei den nachfolgenden Versuchen der Widerstand des Schliefsungsbogens gröfserer Ausschläge wegen, nicht so grofs gemacht war wie früher, so blieb der Widerstand der Schliefsung bei der Erwärmung der Flüssigkeit nicht vollkommen constant und er ist daher der Sicherheit wegen durch Vergleich mit einem bekannten Widerstande berechnet. Es wurde nämlich der Widerstand von 90 Meilen Telegraphendraht (= 5224 Siemens'schen Quecksilbereinheiten), dem Schliefsungsbogen eingeschaltet und die primäre Stromintensität i mit der sich nun ergebenden i_1 verglichen. Nach einer bekannten Formel ergiebt sich dann die elektromotorische Kraft $\varepsilon_\Delta = \frac{i i_1}{i - i_1}$.

I. Concentrirte Zinkvitriollösung.

R	i	i_1	t_a	t_i	ε_Δ	Q
42	39	40	15	15	− 6	
	212	131		47	+ 186	6,00
	430	42		81	+ 418	6,5
	22,5	31		13	− 24	
	372	211		71	+ 347	6,4

p	i	t_i	t_a	t_b	ε_Δ	Q
42	152	98,5		36,4	116	6,0
36	36	36	17	18		
	125	80		33	88	6,0
37	240	143		52	218	6,4
37	37	37	18	19		
	240	143		53	224	6,36
34	337	190		69	322	6,44
35	440	240		83	420	6,56
40	17	27,5	15	10,5	— 27	
	83	63		23	+ 49	5,9
	137	90		32	103	6,0
	13	25,6	15,7	10,2	— 29	
42	260	155	16	53	236	6,21
	376	215	16,7	72	351	6,30
41	460	258	17	85	442	6,41
49	57	53	1,5	—2	+ 8	
50	134	95	1,6	16	97	6,3
	236	150		33	205	6,4
	308	188		44	294	6,8
	256	215		52	367	7,0
	510	295		74,5	525	7,1

II. Concentrirte Lösung mit 4 Th. H_2O.

p	i	t_i	t_a	t_b	ε_Δ	Q
142	81	108	15	3	— 77	
	254	204		37	136	6,18
	330	245		51,2	229	6,39
	397	282		62,5	310	6,50
	511			81,5	441	6,64
		340		80,8		
140	81	108		3	70	
	296	227		45	196	6,33
142	475	325		75	406	6,61
	518 — 520	346 — 347		82	456	6,65

R	i	i_1	t_a	t_b	$\Delta\varepsilon$	Q
183	183	183	1	3	0	
	295	244		26,8	134	5,64
	332	261		34	177	5,68
	420	313		49,5	288	6,20
184	547	383		72	443	6,42
	629	726		85	528	6,44
184	184	184	1	3		
	327	263		33	176	5,87
III. 2 Theile Zinkvitriol und 67 Theile Wasser.						
40	38	39	1,5	0,5		
	125	96		25	150	6,4
42	201	147		45,46	285	
	373	248		82	555	6,9
IV. 6 Theile Zinkvitriol und 64 Theile Wasser.						
40	62	52	2,3	1	30	
	176	117		25	177	6,15
41	240	156	3	38	226	6,3
				36,5		
	370	225		60	391	6,5
43	522	308		85	580	6,9

Ein Blick auf die Werthe Q zeigt, dafs sie nicht gleich sind, sondern dafs sie je gröfser die Temperaturdifferenz ausfällt, um so gröfser werden. Daraus kann man abnehmen, dafs sich die elektrische Spannung von Zinkvitriol und amalgamirtem Zink schneller verringert, als die Temperatur zunimmt. Um nun das Gesetz, nach welchem beide Gröfsen, die Temperaturzunahme Δt und die Kraftabnahme $\Delta\varepsilon$ mit einander verbunden sind, annähernd darzustellen, liegt es nahe, wie in allen derartigen Fällen, die Annahme zu machen, dafs die Aenderung der elektromotorischen Kraft $\Delta\varepsilon$, wenn sie nicht durch eine Function ersten Grades, doch durch eine Function zweiten Grades von Δt dargestellt werde und also die Form habe

$$\Delta\varepsilon = + a\Delta t + b\Delta t^2.$$

Um jetzt a und b zu finden, braucht man nur aus den vorstehenden Beobachtungen zwei bezüglich zusammengehörige Werthe von Δt und $\Delta \varepsilon$ aus der Columne $t\,b$ und ε in die Gleichung $\Delta \varepsilon = a \Delta t + b \Delta t^2$ einzusetzen und die beiden entstehenden Gleichungen nach a und b aufzulösen. Setzt man z. B. für $\Delta \varepsilon$ und Δt die aus der ersten Beobachtungsreihe genommenen Werthe $\Delta \varepsilon = 192$, $\Delta \varepsilon = 424$ und $\Delta t = 32$, $\Delta t = 66$, so findet man für a und b die Werthe $a = 5{,}608$ und $b = 0{,}0123$, so dafs also $\Delta \varepsilon$ ausgedrückt wird durch die Formel:

$$\Delta \varepsilon = 5{,}608 \, \Delta t + 0{,}0123 \, \Delta t^2$$

Es fragt sich nun, ob die nach dieser Formel berechneten Werthe mit den beobachteten vollständig übereinstimmen. Ich habe die Rechnung für einige Temperaturen ausgeführt und gefunden, dafs die Formel anwendbar ist für die Beobachtungsreihe, aus welcher $\Delta \varepsilon$ und Δt zur Bestimmung von a und b entnommen sind. Es wurde z. B. gefunden:

Δt	beobachtete Intension	berechnete Intension
15	88	87
31,4	122	124
56	353	352

Für die übrigen Beobachtungsreihen pafst indessen obige Formel nicht, und es wäre also für jede derselben eine eigene zu berechnen. Ich habe jedoch dieses unterlassen, weil es von keiner besondern Wichtigkeit seyn möchte. Dagegen scheint es mir von Interesse zu seyn — obwohl es mich von dem beabsichtigten Gange meiner Untersuchungen ein wenig abführen mufste — beiläufig zu untersuchen wie sich das amalgamirte Zink in einer Chlorzinklösung bei der Erwärmung verhält. Auch hierbei tritt bekanntlich keine Polarisation auf, so dafs also von dem etwaigen Resultat Zuverlässigkeit zu erwarten stand. Durch mehrere Beobachtungsreihen, die überdiefs mit verschiedenen Concentrationen angestellt wurden, erhielt ich nun das Ergebnifs, dafs die Spannkraft von Chlorzink und amalgamirtem Zink gleichfalls bei der Erwärmung abnimmt. Was aber die

Größe der Abnahme anbetrifft, so geben davon folgende Reihen den besten Aufschluſs, in welchen die Zeichen

$R, i, i_1, t_a, t_b, \varepsilon, Q$

dieselbe Bedeutung haben wie früher.

I. 44 HO 39 ZnCl.

R	i	i_1	t_a	t_b	ε	Q
39	21	30	2,5	3,8	− 18	
37	176,5	109		35	+ 148	5,2
	397	223		80 − 79	+ 407	5,6
40	21	30	3	3,5	− 21	
	252	147		52,6	+ 216	4,2
	343	190		71 − 70	+ 300	4,7
	400	220	3,7	82	366	4,9
	410	226		84	374	4,9
40	20	30	5	3	− 20	
41	250	143	53,8		200	4,6

II. 107 HO + 23 ZnCl.

R	i	i_1	t_a	t_b	ε	Q
50	54	52	9	9	2	
	372	217	85	—	318	4,5
53	52	53	2,0	2,8		
	150	105	30	—	112	4,1
52	191	126	40,8	—	159	4,2
	238	151	52	—	201	4,1
	276	170	61	—	249	4,3
	373	221	82,5		357	4,4
	406	235	88 — 87		387	4,5
	358	215	79,5		350	4,5
51	53	52	4	4	− 2	
	119	176	36		149	4,8
	118	174	37			
	226	145	49,5		203	4,4
	250	157	55		230	4,5
	266	166	59		244	4,5
	332	200	72,8		318	4,6
	392	229	85 — 84		373	4,6

III. 84 HO 10 ZnCl.

R	i	i_1	t_a	t_b	ε	Q
40,5	49	45	5	52	+ 9	
	141	95		30,1	+ 122	4,5
40	255	153	5,5	56	238	4,6
	218	134		47,6	392	4,5
	855	305	6,5	77,5 — 77	347	4,7
	378	217	7	81,8 — 81	372	4,8

Die vorstehenden Zahlenwerthe zeigen uns nun erstens, daſs die Abnahme der Spannkraft von Zn / ClZn nicht so groſs ist als die der Spannkraft von Zn / ZnOSO_3 und zweitens, daſs auch diese Abnahme der Temperaturzunahme nicht in aller Strenge proportional ist.

Nachdem ich durch die im Vorhergehenden beschriebenen Versuche das Verhalten der einzelnen Spannkräfte, welche im Daniell'schen Elemente zusammenwirken, in ihrer Beziehung zur Wärme näher untersucht hatte, hielt ich es durchaus für nicht überflüssig, noch einmal die Versuche am Daniell'schen Elemente zu wiederholen und dann zu gleicher Zeit für die verdünnte Schwefelsäure auch Zinkvitriol und auch andere Flüssigkeiten anzuwenden. Ich ging jedoch zu diesem Ende auf das frühere Verfahren nicht wieder zurück, weil dieſs wenig Interesse darbieten konnte, sondern construirte mir ein Daniell'sches Element eigener Beschaffenheit, an dem sich die Erscheinungen nicht so compliciren konnten, und nahm dann an diesem die Bestimmungen der elektromotorischen Kraft in etwas modificirter Weise vor. Es wurden nämlich zwei rechtwinklich gebogene Glasröhren *ABC* und *DEF* mit einer Oeffnung von etwa 25 Millimeter durch einen Schlauch verbunden, nachdem das eine der zu verbindenden Enden —*A*— mit thierischer Blase verschlossen war. Hierauf wurden die beiden nicht verbundenen Schenkel der Glasröhren *CB* und *EF* durch Korke in zwei unten und oben offene weite glockenförmige Glasgefäſse geführt, so daſs sie von diesen als Wasserbädern umgeben wurden. Durch Stative wurden die Schenkel in aufrechter Richtung gehal-

ten, während der andere Theil des Apparates, wie die Fig. 3 Taf. I zeigt, in eine mit Wasser gefüllte Blechwanne tauchte. In die eine der beiden verbundenen Röhren *ABC* wurde hierauf Kupfervitriol hineingethan in die andere *DEF* dagegen bald verdünnte Schwefelsäure, bald Zinkvitriol, bald Kochsalzlösung; und während nun in erstere ein Kupferstreifen als metallischer Erreger eingeführt ward, vertrat in letzterer amalgamirtes oder auch gewöhnliches Zink die Stelle eines solchen. Zu gleicher Zeit konnte man an Thermometern, welche sich in den Flüssigkeiten möglichst dicht an den metallischen Erregern befanden, die Temperaturen der beiden Berührungstellen der Metalle und Flüssigkeiten bestimmen. Letztere standen wiederum mit den Enden des Galvanometerdrahtes in Verbindung, so dafs der Strom des auf diese Weise hergestellten Daniell'schen Elementes direct durch das Mefsinstrument ging. Um aber die Empfindlichkeit desselben so weit zu schwächen, dafs man die Intensität des Stromes messen konnte, mufsten die Windungen des angewandten Spiegelgalvanometers von dem Spiegel entfernt werden. Um die langwierige Rechnung zu sparen wurde der Widerstand des Schliefsungsbogens wiederum so grofs gemacht, dafs die Aenderung in Folge der Erwärmung des Elementes gegen den gesammten Widerstand verschwand, und es konnte dann die jedesmalige Kraft der Kette der am Galvanometer bestimmten Intensität proportional gesetzt werden.

Gleich nach der Schliefsung des Stromkreises zeigte das oben beschriebene Daniell'sche Element einige Schwankungen, nach einiger Zeit stellte sich aber ein constanter Strom her. Erst dann wurde die Bestimmung der Kraft vorgenommen und zwar in der Regel mehrfach in kleineren Zwischenzeiten, während die Temperaturen der Flüssigkeiten zunächst noch unverändert blieben. Wurde nun aber die Flüssigkeit um das Kupfer durch Eis oder warmes Wasser in den Glasgefäfsen abgekühlt oder erhitzt, so wurde in Uebereinstimmung mit den früheren Untersuchungen wiederum die elektromotorische Kraft abgeändert. Da-

bei stellte sich heraus, dafs eine Erwärmung der Schwefelsäure in DEF völlig gleichgültig war und gar keine Aenderung zur Folge hätte, wie diefs nach den früheren Untersuchungen ebenfalls zu erwarten stand. War dagegen das Daniell'sche Element statt mit verdünnter Schwefelsäure mit Zinkvitriollösung zusammengesetzt, so wurde durch die Erwärmung des Zinks bei unveränderter Temperatur der Kupferlösung die elektromotorische Kraft der Kette um ein Bedeutendes geschwächt. Wurde aber endlich statt Schwefelsäure Kochsalzlösung mit nicht amalgamirtem Zink angewendet, so stieg wiederum die elektromotorische Kraft des Elementes beim Erwärmen der Kochsalzlösung an, was bei Anwendung von amalgamirtem Zink nicht der Fall war. Einige Zahlenwerthe werden die Belege zu diesen Angaben liefern. In nachstehenden Beobachtungsreihen bedeutet R wieder den Stand des Spiegels in der Ruhe, a den beim Hindurchgange des Stromes, i dessen Intensität und ε die elektromotorische Kraft, wobei zu bemerken, dafs die anfängliche der Uebersichtlichkeit wegen stets gleich 100 gesetzt ist; tk und tz bezeichnen die Temperaturen der respectiven Flüssigkeiten.

I. $1 CuO SO_3 + 4 HO$ $1 SO_3 + 16 HO$

R	a	i	tk	tz	ε
45	496	451	16	16	100
	530	488	71		107,5
	500	455	21		
43	476	433	16,5	16	100
	509	466	74		107
	478	435	20		
	475	432	17		100
44	512	470	78		108
	496	452	46,5		104
38	515	477	17	16	100
	549	511	75		107
39	515	476	17		100
	537	499	56		105
	514	475	17		100
	537	499	56		105
	515	476	17		

R	*a*	*i*	*tk*	*tz*	*s*
45	491	446	15	16	100
	528	483	72	11	107
	491	446	15	11	100

II. Concentrirtes Kupfervitriol, Concentrirtes Zinkvitriol.

R	*a*	*i*	*tk*	*tz*	*s*
51	505	454	3	2,5	100
	481	430		79	94,6
50	505	455		1	100
	479	429		84	94
	505	755		1,8	100
	540	490	81		108
	506	456	9		
	502	452	1		100
	538	488	78		108
	503	453	2		100

III. Concentrirte Kochsalzlösung und concentr. CuO SO$_3$

R	*a*	*i*	*tk*	*tz*	*s*
50	511	461	1	6	100
	521	471		85	102
46	504	458		15	100
	514	468		75	102
	500	454		20	100
	510	464		80	102

Aus den vorstehenden Angaben ersehen wir also, was schon oben angedeutet war, dafs die Erwärmung der Kochsalzlösung, bei unveränderter Temperatur der Kupfervitriollösung, eine Erhöhung der gesammten elektromotorischen Kraft des Daniell'schen Elementes zur Folge hat. Es ist das insofern interessant, als sich daraus ergiebt, dafs die elektrische Spannung von amalgamirtem Zink und Chlornatrium mit der Temperatur wächst, während die von amalgamirtem Zink und Zinkvitriol mit der Temperatur abnimmt. Jene Kraftzunahme bei der Erwärmung der Kochsalzlösung ist aber im Ganzen nur klein, während sich dagegen die Aenderung der beiden andern betrachteten Spannkräfte er-

heblicher zeigt. Vergleicht man nämlich in den Columnen ε die elektromotorischen Zunahmen mit den vorhandenen Kräften, so ergiebt sich für Kupfer im Kupfervitriol bei einer Temperaturerhöhung von 80° eine Kraftzunahme von ungefähr 8 Proc. und ebenso für Zink in Zinkvitriol eine Abnahme von 6 Proc.

Bei dieser nicht unbedeutenden Gröfse der Aenderungen, welche selbst im Verhältnifs zur gesammten Kraft nicht unerheblich sind, stand von vornherein zu erwarten, dafs dieselben nicht blos am Galvanometer, sondern auch am Elektrometer wahrnehmbar und mefsbar seyn würden und es schien mir daher der Mühe werth am Schlusse meiner Beobachtungen auch noch am Letzteren einige Versuche auszuführen. Es bot sich mir hierzu insofern eine günstige Gelegenheit dar, als gerade im Laboratorium des Hrn. Professor Magnus Hr. M. Avenarius mit elektromotorischen Messungen beschäftigt war und auf meinen Vorschlag, im Verein mit mir einige Beobachtungen an seinem Kohlrausch-Dellmann'schen Elektrometer zu unternehmen, mit grofser Freundlichkeit und Bereitwilligkeit einging. Die von uns darauf gemeinschaftlich angestellten Versuche will ich nur in der Kürze und soweit es zum Verständnifs nöthig ist, mittheilen und auseinandersetzen. Unser erster Versuch bestand darin, dafs wir nach der Kohlrausch'schen Bestimmungsart die elektrische Spannung des von mir construirten aus Kupfer- und Zinkvitriol zusammengesetzten Daniell'schen Elementes ermittelten. Dazu liefsen wir einmal die Spannkräfte der Condensatorplatten C und des Elementes D in gleichem und das andere Mal in entgegengesetztem Sinne auf die Elektrometernadel wirken. Es ergab sich dabei für $D+C$ als Mittel aus vier Beobachtungen eine Ablenkung von 41,50 und ebenso als Mittel aus fünf Beobachtungen für $D-C$ eine Ablenkung von 21,5°. Nach besonders von M. Avenarius für sein Elektrometer berechneten Tabellen entsprechen diesen Ablenkungen die ablenkenden Kräfte:

$$D+C=421 \text{ und } D-C=209.$$

Mithin war

$$D = 315 \text{ und } C = 107.$$

Jetzt wurde die Kupfervitriollösung um etwa 60° erwärmt und sofort die Spannkraft des Elementes nochmals in derselben Weise bestimmt. Nunmehr ergaben sich für $D + C$ und $D - C$ als Mittelwerthe aus fünf Beobachtungen die Ablenkungen 42° und 23°, für welche sich nach den Tabellen folgende Kräfte ergeben:

$$D + C = 428 \text{ und } D = C = 214.$$

Hieraus folgt:

$$D = 321 \text{ und } C = 106.$$

Die Kraft des Daniell'schen Elementes hatte sich demnach durch die Erwärmung des Kupfervitriols um 60° von 315 auf 321 gesteigert, d. h. um etwa 2 Proc.

Bei einem zweiten Versuche, den wir demnächst anstellten, um die Veränderung der Kraft durch die Erwärmung des Zinkvitriols kennen zu lernen, bestimmten wir nur die Summe der Spannkraft des Condensators und des Elementes. Es fand sich für $D + C$ bei vier Beobachtungen stets die Ablenkung von 43°, welcher nach der Torsionstabelle die Kraft 441 entsprach. Nachdem hierauf die Zinkvitriollösung um ungefähr 70° erwärmt war, ergab sich als Mittel aus vier Beobachtungen eine Ablenkung von nur 41,6°, welche einer Kraft gleichkamen $= 423$, so dafs mithin die Kraft des Elementes um 18 Einheiten verringert war.

Ein dritter Versuch wurde endlich in der Weise angestellt, dafs wir in meinen Apparat beiderseits Zinkvitriol mit amalgamirten Zinkstreifen hineinthaten, so dafs sich die beiden gleichen Spannkräfte einander aufhoben. Hierauf wurde die eine Berührungsstelle von Zink und Zinkvitriol um ungefähr 60° erwärmt und mithin das Gleichgewicht der beiden elektrischen Spannkräfte aufgehoben. Bezeichnen $\Delta \varepsilon$ die Differenz der beiden Spannkräfte der Kette und C wieder die des Condensators, so ergab sich für $\Delta \varepsilon + C$ als Mittel aus drei Beobachtungen eine Ablenkung von 8° und nach der Tabelle eine ablenkende Kraft von 84.

Nunmehr wurde diese Kraft mit der eines gewöhnlichen

Daniell'schen Elementes verglichen. Wir fanden zunächst für $D+C$ und $D-C$ die Ablenkung 53° und 45° oder die ablenkenden Kräfte $D+C=597,1$ und $C-D=468$.

Hieraus folgt $D=532,5$ und $C=64,5$ und da nun $\Delta\varepsilon+C=81$ war, so ergiebt sich:

$$\Delta\varepsilon=9,95 \text{ oder } \Delta\varepsilon=0,037\,D.$$

Es betrug mithin die Ablenkung von Zn / ZnOSO$_3$ bei einer Erwärmung um 60° etwa 3,7 Proc. was nahezu mit der am Galvanometer gefundenen Verringerung jener Spannkraft übereinstimmt, wenigstens so genau, wie diefs bei elektromotorischen Untersuchungen zu erwarten steht.

So weit meine Untersuchungen.

Es wird nun zum Schlusse nicht überflüssig seyn, wenn ich der Uebersichtlichkeit wegen, die aus ihnen hervorgehenden Ergebnisse in der Kürze nochmals wiederhole und sie so zusammenstelle, wie sie sich am natürlichsten aneinanderreihen.

1. Von den elektrischen Spannkräften sind einige von der Temperatur des Erregers abhängig und ändern mit ihnen oft mehr oft weniger ab. So zeigt z. B. Kupfer in Kupfervitriol, amalgamirtes Zink in Zinkvitriol und Chlorzink und nicht amalgamirtes Zink in Kochsalzlösung eine Aenderung der Kraft bei der Erwärmung, während diefs bei amalgamirtem Zink in Schwefelsäure und in Kochsalzlösung mit den gewöhnlichen Mefsinstrumenten nicht sicher nachzuweisen ist.

2. Die Aenderung der Kraft geht nicht immer in demselben Sinne vor sich; während sie z. B. bei Kupfer in Kupfervitriol und amalgamirtem Zink in Zinkvitriol und Clorzink mit der Erwärmung abnimmt, nimmt sie mit derselben bei nicht amalgamirtem Zink in Kochsalzlösung zu.

3. Die Aenderung ist nicht in allen Fällen zwischen den Temperaturen +2° und 85° der Temperaturveränderung proportional, wie das die Beobachtung am Zink in Zinkvitriol und Chlorzink deutlich zeigen.

4. In Uebereinstimmung mit No. 1 und No. 2 zeigt auch das Daniell'sche Element keine Constanz bei ver-

änderten Temperaturen sobald das Zink mit verdünnter Schwefelsäure oder Kochsalzlösung umgeben ist.

Bei Anwendung von Zinkvitriol heben sich jedoch die in Folge der Erwärmung auftretenden Aenderungen nahezu auf.

II. *Ueber das lange Spectrum des elektrischen Lichtes; von G. G. Stokes.*

(*Philosoph. Transact. f.* 1862, *p.* 599.)

Die in einem früheren Aufsatz [1]) beschriebenen experimentellen Untersuchungen führten mich indirect zu dem Schlufs, dafs der elektrische Funke, mag er vom Conductor einer gemeinen Elektrisirmaschine oder von der Entladung einer Leydener Flasche erhalten worden seyn, Strahlen von sehr hoher Brechbarkeit, von viel gröfserer als alle von der Sonne zu uns gelangenden Strahlen, aussendet, und dafs diese Strahlen frei durch Quarz hindurchgehen, während sie, wie die brechbarsten der Sonnenstrahlen, vom Glase absorbirt werden. Ich wurde dadurch veranlafst, mir Prismen und eine Linse von Quarz anzuschaffen und sie zunächst auf die Untersuchung des Sonnenspectrums anzuwenden, wodurch sogleich das Daseyn einer unsichtbaren Region entdeckt wurde, die sich weit über das sichtbare Spectrum hinaus erstreckt und eine Fortsetzung der Fraunhofer'schen Linien zeigt [2]). Eine Karte von den neuen Linien wurde auf der Versammlung brittischer Naturforscher zu Belfast im Herbst desselben Jahres in einer Abend-Vorlesung vorgezeigt, und ich sagte damals, ich glaubte, wir hätten damit den Beweis, dafs die Gränze des

1) *On the change of refrangibility of light, Phil. Transact. f.* 1852 *p.* 468 (Diese Ann. Ergänzungsbd. IV, S. 177.)

2) *Ib. p.* 559 (Ann. Ebendaselbst S. 341.)

Sonnenspectrums nach der brechbareren Seite hin erreicht worden sey. In der That, dieselbe Vorrichtung, die, mittelst Fluorescenz, das Daseyn von Strahlen einer offenbar höheren Brechbarkeit im Lichte des elektrischen Funkens nachwies, zeigte nichts der Art, wenn sie auf das Sonnenspectrum angewandt wurde. Das Einzige wenigstens, was noch durch directe Versuche zu beweisen übrig blieb, betraf die Reflexion der Strahlen von hoher Brechbarkeit durch den Metallspiegel des Heliostats, der zur Reflexion der Sonnenstrahlen in passender Richtung angewandt worden war, und diefs geschah kurz hernach durch directe Versuche an Lichtstrahlen einer elektrischen Entladung, die durch prismatische Refraction gesondert worden.

Bei den Vorbereitungen zu einer im Februar 1853 in der *Royal Institution* zu haltenden Vorlesung über den Gegenstand, bei denen ich mich der gütigen Hülfe des Hrn. Faraday zu erfreuen hatte, kam ich natürlich auf das elektrische Licht zurück, wegen des darin gefundenen aufserordentlichen Reichthums an Strahlen von hoher Brechbarkeit. Obgleich zur Genüge vorbereitet, darin Strahlen von viel höherer Brechbarkeit als im Sonnenspectrum gefunden anzutreffen, war ich doch sehr erstaunt, als ich eine kräftige Entladung einer Leydener Flasche der prismatischen Analyse mit dem Quarz-Apparat unterwarf, ein Spectrum zu finden, welches das sichtbare Spectrum nicht weniger als sechs bis acht Mal an Länge übertraf, und ich konnte anfangs nicht den Verdacht unterdrücken, dafs es ein Irrthum sey, entstanden aus der Reflexion von diffusen (*stray*) Licht. Ein ähnlich ausgedehntes Spectrum wurde mittelst des Volta'schen Bogens erhalten und war hell genug um es den Zuhörern zu zeigen. Der Bogen ging zwischen Kupfer-Elektroden über und das vom Quarzapparat gebildete reine Spectrum wurde mit einem zu dem Ende geschnittenen Uranglase aufgefangen. Das so gebildete Spectrum erwies sich ganz aus hellen Linien bestehend [1]), wogegen das Spectrum von der Entladung der Leydener Fla-

1) *Proceedings of the Royal Institution Vol. I, p.* 264.

sche (vielleicht weil es nicht genau im Brennpunkt war) continuirlich oder wenigstens nicht ganz discontinuirlich zu seyn schien.

Die Methode der Absorption des Lichts durch farbige Lösungen, wie sie durchs Prisma beobachtet wird, liefert in vielen Fällen schätzbare Charaktere gewisser Substanzen, welche, seltsam genug, trotz der leichten Beobachtung bis in sehr neuere Zeit gänzlich von den Chemikern vernachlässigt worden sind. Nachdem ich das oben erwähnte lange Spectrum erhalten hatte, mufste es mich natürlich interessiren, zu sehen, wie sich besonders reine, aber sonst unvollkommen bekannte organische Substanzen in Bezug auf die Absorption sehr brechbarer Strahlen verhalten würden. Allein die Schwierigkeiten, die mit dem gewöhnlichen Gebrauch einer Salpetersäure-Batterie von 30 bis 40 Zellen verknüpft sind, schreckten mich von dieser Untersuchung ab und ich beschlofs mich auf das Sonnenspectrum zu beschränken.

Wegen einiger aus dem Anlaufen meines Heliostat-Spiegels entsprungenen Uebelstände, liefs ich kleine Quarzplatten theils versilbern, theils mit dem gewöhnlichen Zinnamalgam belegen. Als ich solche Platten in Bezug auf ihr Reflexionsvermögen für unsichtbare Strahlen in kleinem Maafsstabe untersuchte, was mittelst Fluorescenz fast ebenso leicht gethan ist, als bei sichtbaren Strahlen [1]), gewahrte ich bei der versilberten Platte eine merkwürdige Abnahme des Reflexionsvermögens für die brechbarsten der Sonnenstrahlen, was, wie sich leicht fand, von einer Eigenthümlichkeit des Silbermetalls herrührte. Diefs Metall reflectirt bis etwa zu der festen Linie S [2]) die unsichtbaren Strahlen ebenso stark wie die sichtbaren, allein von dort an nimmt sein Reflexionsvermögen mit merkwür-

1) *Philosoph. Transact f.* 1852 *p.* 537.

2) Gemäfs der Bezeichnung in der Karte, die in den *Philosoph. Transact. f.* 1859 Platte XLVII veröffentlicht ist. In dieser Karte hätte die Gruppe als drei Linien dargestellt werden sollen, von denen die mittlere (speciell S genannt) den Abstand zwischen der ersten und dritten nahe in dem Verhältnifs 3 zu 2 halbirt. Die Räume zwischen den Linien müssen ein wenig schattirt seyn.

diger Schnelligkeit ab, und für die brechbareren Strahlen des Sonnenspectrums ist es eher mit dem einer glasigen Substanz als mit dem eines Metalls zu vergleichen. Stahl, Gold, Zinn usw. zeigten nichts der Art, sondern reflectirten die unsichtbaren Strahlen reichlich.

Vor etlichen Jahren, als Hr. Dr. Robinson mir einige Versuche mit dem Inductionsapparat zeigte, schien es der Mühe werth, zu untersuchen, ob der Funke, der bei Verbindung der Pole des Apparates mit dem Belegen einer Leydener Flasche erhalten wird, nicht stark genug sey, das lange Spectrum des elektrischen Lichts durch Projection zu erhalten. In der That zeigte sich das lange Spectrum als das durch ein Prisma und eine Linse von Quarz gebildete Spectrum auf ein Stück Uranglas projicirt wurde. Es war indefs nicht so hell als das durch eine mächtige Volta'sche Batterie erzeugte, jedoch hell genug um damit zu arbeiten. Es war discontinuirlich, aus hellen Linien bestehend. Die Linien änderten sich je nach den Metallen, zwischen denen die Funken überschlugen, zum deutlichen Beweise, dafs sie von den Metallen herrührten.

Damit war ein weites Feld zur Untersuchung geöffnet für Jeden, der sich der sehr mäfsigen Mühe unterziehen wollte, die mit dem Gebrauch des Inductionsapparats verknüpft ist. Es war nur übrig, die von verschiedenen Metallen und Gasen gelieferten Linien, sowie die absorbirende Wirkung verschiedener Substanzen in Bezug auf die unsichtbaren Strahlen von verschiedenen Brechbarkeiten zu studiren.

Von Zeit zu Zeit wurden verschiedene Beobachtungen über diesen Gegenstand angestellt. Was die Metall-Linien betrifft, so ist es sehr leicht sie sichtbar zu machen, aber ein Anderes ist es, getreue Abbildungen von ihnen zu erhalten. Selbst ein vollendeter Künstler würde Schwierigkeit darin finden, nach blofsem Anblick ein treues Bild von einem Gegenstand zu entwerfen, der im Dunklen gesehen werden mufs. Ich versuchte verschiedene Methoden ohne mich hinsichtlich der Genauigkeit der Zeichnungen

zu befriedigen und ich dachte oft zur Photographie zu greifen.

Mittlerweile beobachtete ich die Absorptionsweise sehr brechbarer Strahlen durch eine gute Anzahl von Substanzen. Für den, der eine Zelle mit parallelen Quarzflächen besitzt, ist nichts leichter als mittelst Fluorescenz die Absorptionsweise dieser Strahlen durch eine gegebene Lösung zu beobachten; allein sichere Schlüsse zu ziehen hinsichtlich des optischen Charakters der in der Lösung vermeinten Substanz ist nicht so leicht als es scheinen möchte; denn die Strahlen von hoher Brechbarkeit sind fähig von einer aufserordentlich kleinen Menge einer Unreinigkeit absorbirt zu werden, deren Gegenwart der Beobachter nicht ahnt. So fand ich, dafs etwa ein Viertel-Quadratzoll von reinem Filtrirpapier das in einer kleinen Zelle enthaltene Wasser hinreichend verunreinigte, um dessen Durchsichtigkeit merklich zu trüben. Wäre die Lösung durchsichtig, so entspränge daraus keine Schwierigkeit, denn der Effect einer Unreinigkeit bestände nicht darin, eine sonst opake Flüssigkeit durchsichtig zu machen. Absorbirte sie andrerseits die unsichtbaren Strahlen oder einige derselben mit grofser Kraft oder in einer besonderen Weise, so schlössen wir wiederum vielleicht, dafs wir den wahren Charakter der zu beobachtenden Substanz erhalten hätten. Die merkwürdigsten Beispiele dieser Art, welche ich unter unorganischen farblosen Lösungen antraf, waren Salpetersäure und deren Salze, z. B. die von Kali, Natron, Ammoniak und Baryt, welche die Strahlen von hoher Brechbarkeit mit grofser Energie und in eigenthümlicher Weise absorbiren, indem auf ein Maximum von Opacität ein Maximum von Transparenz folgt, jenseits dessen die Absorption noch energischer wird, als zuvor. Fände sich aber, dafs die Lösung die Strahlen von hoher Brechbarkeit mit nur mäfsiger Energie absorbirte, so würde es zweifelhaft bleiben, ob nicht die beobachtete Absorption von einer Unreinheit herrührte. Und ich sehe nicht, dafs dieser Zweifel anders gelöst wer-

den könnte als durch ein mühsames System von Umkrystallisirungen.

Nachdem ich diese Resultate erhalten, erfuhr ich durch eine Unterredung mit meinem Freunde, dem Dr. Miller, dafs er bei photographischen Arbeiten ebenfalls mit diesem Gegenstand beschäftigt gewesen sey, dafs er eine Anzahl Photographien von Metall-Spectren dargestellt, und auf dieselbe Weise die Absorption sehr brechbarer Strahlen durch eine grofse Mannigfaltigkeit von Substanzen, hauptsächlich unorganischen Säuren, Basen und Salzen, auch von gewöhnlicheren organischen Stoffen, studirt habe. Obgleich somit ein grofser Theil der Aufgabe, die ich mir gestellt hatte, in anderer Weise gelöst worden, so gab es doch unter den mir vorgekommenen Erscheinungen manche, die nicht durch Photographien erlangt werden können, und ich habe es daher für gut gehalten, sie in einem Aufsatz zusammenzufassen, der somit als Ergänzung von dem des Dr. Miller dienen kann.

Bereitung eines Schirms mittelst eines Uransalzes.

Wenige Substanzen fluoresciren kräftiger als verschiedene Salze des Uransesquioxydes. Ein wenigstens auf zwei gegeneinander rechtwinklichen Flächen polirtes Stück Uranglas ist, wegen seiner kräftigen und anhaltenden Fluorescenz, ungemein als Schirm zur Aufnahme eines Spectrums geeignet. Defsungeachtet ist ein solcher Schirm, welcher, um den stärksten Effect zu geben, in besonderen Richtungen betrachtet werden mufs, in vielen Fällen weniger bequem als einer, der wie eine Wasserfarbe aus einem stark fluorescirenden Pulver bereitet worden ist, da derselbe in jeglicher Richtung betrachtet werden kann. Besonders ist diefs der Fall beim Messen nach einer Methode, die ich gegenwärtig beschreiben will. Aufserdem finde ich ein vortreffliches Stück eines solchen Glases mangelhaft in fluorescirender Kraft rücksichtlich der äufsersten Linien des Aluminiums; einige Stücke sind, wahrscheinlich wegen Unreinigkeiten, noch viel mangelhafter. Daher habe ich es längst

als ein Desideratum betrachtet, durch Fällung ein unlösliches oder sehr schwerlösliches Uransesquioxyd-Salz zu erhalten, welches so fluorescirend, wie die besten Salze dieser Base wäre und wie eine Wasserfarbe behandelt werden könnte. Es ist mir nun gelungen, ein solches Salz darzustellen, obwohl nicht durch directe Fällung.

Das gewöhnliche, durch Fällung erhaltene Phosphat, das aufser dem Hydratwasser, die Zusammensetzung $PO_5 (U_2 O_3)_2 HO$ hat, fluorescirt nur schwach. Wenn man indefs dieses Salz, mit so viel Wasser als es beim Waschen durch Decantation behält, in ein Schälchen thut, etwas freie Phosphor- oder Schwefelsäure, und darauf Krystalle von phosphorsaurem Natron, phosphorsaurem Ammoniak, mikrokosmischem Salz oder Borax in Ueberschufs hinzufügt, so wird das ursprüngliche Salz allmählich in eins verwandelt, welches kräftig fluorescirt. Am schnellsten scheint diese Veränderung mit Borax einzutreten; allein da ein Ueberschufs dieses Salzes im Stande ist, das anfangs gebildete fluorescirende Salz zu zersetzen, so ist es besser, das Phosphat anzuwenden. Die Säuremenge mufs hinreichen eine entschieden saure Reaction hervorzubringen, wenn die Flüssigkeit mit dem alkalischen Phosphat vollständig gesättigt ist. Man verfolgt die Veränderung, indem man von Zeit zu Zeit die Fluorescenz des Salzes im Tageslicht mit Hülfe absorbirender Media untersucht. Sie ist spätestens in ein Paar Tagen vollendet, wo das Salz zur Aufbewahrung fertig ist.

Diefs erfordert Vorsicht, da das Salz rasch durch verdünnte Säuren zersetzt wird (natürlich auch durch seine eigene Mutterlauge, wenn sie verdünnt ist) und selbst, obwohl langsamer, durch reines Wasser, anscheinend unter Bildung des ursprünglichen Phosphats. Es wird auch zersetzt, wenigstens nach einiger Zeit, durch alkalische Carbonate unter Bildung eines schön gelben, nicht fluorescirenden Salzes, welches dem durch alkalische Carbonate in Uransesquioxyd-Salzen hervorgebrachten Niederschlag ähnelt. Man sammelt dieses Salz, indem man auf einmal statt

des Wassers eine gesättigte Lösung von Borax wenigstens in solcher Menge hinzufügt, dafs dadurch die saure Reaction zerstört wird. Dann wird dieses Salz von allen ungelösten Krystallen des angewandten alkalischen Phosphats abgeschwemmt und auf einem Filtrum gesammelt. Ein geprefster Kuchen von diesem Salze oder ein poröser Ziegel auf welchem, nach Befeuchtung mit einer Boraxlösung, das Salz ausgebreitet worden, bildet einen bewundernswürdigen Schirm, den ich späterhin hauptsächlich angewandt habe. Er zeigt natürlich sowohl die sichtbaren, als die unsichtbaren Strahlen, erstere durch gewöhnliche Ausbreitung, letztere durch Fluorescenz.

Vermöge seiner Bildung ist das Salz wahrscheinlich (abgesehen vom Hydratwasser) das ursprüngliche Phosphat, worin ein Aequivalent des Bestandtheilswasser durch ein Aequivalent eines Alkalis ersetzt ist, was es dem stark fluorescirenden natürlichem gelben Uranit analog machen würde. Jedenfalls leitet uns diese Hypothese zu einer wirksamen Bereitung desselben, da deren Bedingung nicht leicht durch Beobachtung allein ermittelt seyn würde. Ohne den Gebrauch von freier Säure wird die Fluorescenz nicht vollständig entwickelt; diefs erklärt sich durch die Unlöslichkeit des ursprünglichen Phosphats und des fluorescirenden Salzes, welche der vollständigen Verwandlung des einen in das andere ein Hindernifs entgegensetzt.

Metall-Linien.

Diese sind, wie schon erwähnt, wahrzunehmen, wenn man den Funken eines Inductoriums zwischen zwei aus dem zu untersuchenden Metall gebildeten Elektroden überschlagen läfst (unter respectiver Verbindung derselben mit den Belegen einer Leydener Flasche von pafslicher Gröfse), mittelst eines Quarzprismas, dessen Seiten gegen die Axe des Krystalls gleiche Neigung haben, und einer Quarzlinse, die winkelrecht gegen die Axe geschnitten ist, ein reines Spectrum bildet und dieses mit einem geeigneten Schirm auffängt, wobei, wenn dazu eine fluorescirende Flüssigkeit an-

gewandt wird, dieselbe in einem Gefäfs mit Quarzwänden enthalten seyn mufs, in Ermanglung dessen auch ein Stück Fliefspapier mit der Flüssigkeit gesättigt werden kann.

Ausgenommen das sichtbare Spectrum und das Vorderste des unsichtbaren, variiren die so gesehenen Linien von Metall zu Metall und sie sind daher dem Metall und nicht der Luft zuzuschreiben. Sie unterscheiden sich auch dadurch von den Luft-Linien, dafs sie nur in einem fast unmerklichen Abstande von den Spitzen der Elektroden erscheinen, wogegen die Luft-Linien sich über den ganzen Zwischenraum ausbreiten. Das Spectrum ist zu ausgedehnt, als dafs man es auf einmal ganz übersehen könnte, wenn das Prisma sich in der Lage der Minimum-Ablenkung befindet; und wenn dasselbe den Elektroden sehr nahe ist, ohne welche Nähe man verhältnifsmäfsig wenig Licht hätte, ist der Effect der verschiedenen, von der Linse in Convergenz übergeführten Divergenz der Strahlen in der primären und secundären Ebene sehr grofs. Um ein reines Spectrum zu erhalten, mufs der Schirm rücksichtlich der primären Ebene im Brennpunkt seyn; und wenn ein besonderer Punkt *P* des Spectrums im Minimum der Ablenkung ist, sind die Linien dicht um *P* fast zu Punkten reducirt, welche für Licht von dieser Brechbarkeit die Bilder der Elektroden-Spitzen sind oder, genauer gesprochen, des Theils des gerade ausseits der Spitzen befindlichen Funkens. Allein in der secundären Ebene haben die Strahlen an der einen Seite von *P* ihren Brennpunkt noch nicht erreicht, und an der anderen Seite haben sie ihn überschritten; so dafs das Bild eines Punkts eine Linie ist, die primäre Brennlinie, deren Länge bei Entfernung von *P* in jeder Richtung wächst; und deshalb wird das spectrale Bild von jeder Spitze, angenommen sie sey ein blofser Punkt, ein Paar spitzer (*slender*), vertical gegenüber stehender Dreiecke seyn, die ihren gemeinschaftlichen Scheitel in *P* haben und deren Längen in der Ebene der Brechung liegen. Das unsichtbare Spectrum besteht in der That aus zwei Paaren solcher Dreiecke, entsprechend respective den beiden Spitzen,

wie leicht zu sehen, wenn die Elektroden nicht zu nahe sind. In einem Abstande von P, bei welchem die Länge der primären Focallinie gleich wird der des Funkenbildes, treffen die beiden Linien, welche, für Strahlen von einer diesem Abstande entsprechenden Brechbarkeit, die Bilder der Elektrodenspitzen sind, in der Mitte des Spectrums zusammen, und jenseits dieses Abstandes übergreifen sie einander, so dafs eine Linie quer durch das Spectrum zu laufen scheint, obgleich sie zu Strahlen gehört, welche nur von der unmittelbaren Nachbarschaft der Elektrodenspitzen ausgehen, wie man sieht, wenn man das Prisma dreht bis jener Theil das Spectrum im Ablenkungs-Minimum ist, und aufs Neue in den Brennpunkt einstellt.

Aufser den hellen, offenbar von den Metallen herrührenden Linien, welche erwähnt wurden, nimmt man ein schwächeres Licht gewahr, das für die genaue Beobachtung zu schwach ist. Ein Theil von diesem gehört wahrscheinlich der Luft an.

Der Hapttheil des sichtbaren durch Projection zu sehenden Spectrums scheint offenbar der Luft anzugehören; denn die Linien erstrecken sich quer durch den Zwischenraum der Elektroden, während die den Metallen angehörigen Linien, selbst in dem sichtbaren Spectrum, sich nur auf eine kurze Strecke ausdehnen; die ersteren kommen auch bei Vertauschung der Elektroden zum Vorschein. Bei einigen Metallen erscheinen indefs im sichtbaren Spectrum Metall-Linien, die an Stärke vergleichbar sind den unsichtbaren Linien von hoher Brechbarkeit; allein im Allgemeinen ist merkwürdigerweise das sichtbare Spectrum und selbst das unsichtbare auf einer guten Strecke jenseits arm an starken charakteristischen Metall-Linien, verglichen mit dem Spectrum-Theil von noch höherer Brechbarkeit.

Ich habe neuerlich zur Festsetzung von Stellen im unsichtbaren Spectrum eine Methode angewandt, die ungemein einfach und bequem ist und Resultate liefert, die gut mit einander übereinstimmen. Sie könnte angewandt werden um Karten von den Metall-Linien zu entwerfen; allein

diefs ist unnöthig, da es bereits vom Dr. Miller geschehen ist. Sie ist jedoch auch nützlich zur Feststellung der Lagen von Absorptionsstreifen und giebt sie bequemer und genauer als durch Schätzung in Bezug auf bekannte Metall-Linien.

Die Methode ist folgende. Auf einen Klotz von zweckmäfsiger Höhe, der auf einem langen Reifsbrett festgeschraubt ist, stellt man das Quarzprisma und befestigt es nach Belieben durch eine von oben auf dasselbe drückende Schraube. Die Linse wird befestigt in einem geschwärzten Brett, das auf der hohen Kante nahe am Prisma festgeschraubt ist, so dafs sie die Strahlen aller Brechbarkeit nach der Brechung durch das Prisma aufnehmen kann. Die angewandte Linse hatte eine Brennweite von 12 Zoll und einen Durchmesser von $1\frac{1}{4}$ Zoll. Nachdem das Prisma in zweckmäfsigen Abstand (ich nahm 30 Zoll) von dem Funken gebracht worden, wurde das Reifsbrett so gedreht, dafs, wenn man das Prisma für die Mitte des langen Spectrums in die Lage des Ablenkungs-Minimum eingestellt hatte, die diesem Theil angehörigen Strahlen ganz oder nahe winkelrecht auf die Linse fielen, die man zuvor so gestellt hatte, dafs diefs eine zweckmäfsige Lage in Bezug auf das Reifsbrett war. Das Prisma wurde dann durch seine Schraube befestigt, und um den Einfallswinkel zu bezeichnen, wurde ein Stift am Rande des Schattens von einem der Klötze angebracht. Da die Strahlen mit zunehmender Brechbarkeit durch die Linse stärker gebrochen werden, so bildeten die Orte der Brennpunkte der verschiedenen Strahlen eine Curve oder beinahe eine gerade Linie, welche gegen die Axen der durch die Linse gehenden Bündel sehr schief lag. Nachdem die Projection dieser Linie auf das Reifsbrett markirt worden, wurde eine sie unter rechtem Winkel halbirende Linie gezogen, und auf letzterer in einem Punkt der $11\frac{2}{3}$ Zoll von ersterer abstand [1]), das Brett durchbohrt für Aufnahme eines Zapfens, um welchen sich zwei Holzlineale drehten, die unter jedem zweckmäfsigen

1) Ein gröfserer Abstand wäre besser gewesen.

Winkel zusammengeklemmt werden konnten. Das kürzere Lineal trug eine lothrechte Nadel, die, sowie dasselbe gedreht wurde, vor dem Brennpunkt der verschiedenen Strahlen vorüberging in einem Abstand von etwa einem Viertelzoll. Das längere Lineal trug eine Pfrieme, bestimmt um auf einem temporär auf dem Reifsbrett befestigten Stück Papier die Lage irgend eines beobachteten Gegenstandes anzugeben. So behielten Prisma, Linse, Bewegungsaxe der Nadel und der Pfrieme, so wie der Stift zur Fixirung des Einfallswinkels eine unveränderliche relative Lage, wenn das Reifsbrett bewegt wurde. Bei dem Beobachten stellte man die Elektroden in den geeigneten Abstand und drehte das Reifsbrett bis der Rand des Schattens auf den Stift fiel. Die Lineale wurden dann zusammen gedreht bis eine helle Linie oder ein anderer Gegenstand durch die Nadel verdunkelt ward, und dann wurde ihr Ort durch Herabstechen bezeichnet. Um einen festen Vergleichspunkt zu haben bezeichnete ich auf solche Weise die Lage des äufsersten sichtbaren Roths auf einem Schirm, z. B. einem Stück Papier; wenn aber eine grofse Genauigkeit erfordert wäre, würde es besser seyn, eine wohl markirte grüne Luft-Linie anzuwenden.

Die Metalle, deren Spectra ich bisjetzt beobachtet habe, sind Platin, Palladium, Gold, Silber, Quecksilber, Antimon, Wismuth, Kupfer, Blei, Zinn, Nickel, Kobalt, Eisen, Kadmium, Zink, Aluminium und Magnesium. Einige derselben zeigen unsichtbare Linien von aufserordentlicher Stärke. Besonders gilt diefs vom Zink, Kadmium, Magnesium, Aluminium und Blei, welches letztere, in einem sonst nicht merkwürdigen Spectrum, eine Linie enthält, die vielleicht die aller übrigen Metalle übertrifft. Andere Metalle zeigen in gewissen Theilen des Spectrums Linien, die sowohl hell als zahlreich sind, so dafs, bei roher Ansicht des Ganzen, gewisse Theile des Spectrums hell und leidlich continuirlich, andere dagegen vergleichungsmäfsig schwach sind. Diese Gruppirung der Linien ist besonders merkwürdig beim Kupfer, Nickel, Kobalt, Eisen und Zinn. Von den erwähnten Metallen giebt das Magnesium bei weitem das

kürzeste Spectrum; es endigt in einer sehr hellen Linie, jenseits welcher jedoch ein ungemein schwaches Licht wahrgenommen werden kann bis zu einem Abstand eben so grofs, wie die Ausdehnung der längeren Spectra. Das Aluminium andrerseits steht in Reichthum an Strahlen von sehr hoher Brechbarkeit an der Spitze der obigen Metalle; und es ist dieser Theil des Spectrums, zu welchen die oben erwähnten starken Linien gehören. Indem ich diese Linien starke nenne, ist dabei selbstverständlich einige Rücksicht auf ihre sehr hohe Brechbarkeit genommen. Denn wenn sie wie oben beschrieben beobachtet werden, erscheinen sie nicht absolut ganz so stark als die groben (*bold*) Linien des Zinks oder Kadmiums. Diefs rührt zum Theil von der mangelhaften Durchsichtigkeit des Quarzes her, welche sich für diesen Theil des Spectrums keineswegs vollkommen erweist. Und in der That kann die höchste Aluminium-Linie, welche eine Doppellinie ist, nur gesehen werden durch Strahlen, welche nahe am Rande durch das Prisma gehen.

Die Fig. 1 Taf. II zeigt die Hauptlinien des Aluminiums in Vergleich zu denen des Zinks und Kadmiums. Bei der ersten der abgebildeten Aluminium-Linien konnte ich die den Spitzen der Elektroden entsprechende Zerfällung in zwei Theile nicht ermitteln. *R* bezeichnet das äufserst sichtbare Roth auf einem Schirm. Die Linien in dem sichtbaren Spectrum sind fortgelassen, da diese schon von Anderen ausführlich untersucht worden sind. Die horizontalen Abstände sind proportional den Abständen der verschiedenen Stiche von dem, dem äufsersten Roth angehörigen, und sie variiren daher wie die Sehnen der von dem Stecher beschriebenen Bögen. Diefs trägt dazu bei, die übertriebene Gröfse, welche das brechbarere Ende des Spectrums durch die angewandte Art des Feststellens der Lage der Linien erfuhr, bis zu einem gewissen Grade zu mäfsigen. Die unterste Reihe von Linien in der Figur, welche des Vergleiches halber hinzugefügt wurde, wird weiterhin besprochen werden.

Aufser der schon erwähnten Linse, wandte ich zuweilen in anderer Weise eine andere von $\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser und $2\frac{1}{2}$ Zoll Brennweite an, also eine grofse für ihre Brennweite. Diese gebrauchte ich zur Herstellung eines Bildes von dem Funken, welches von der zu untersuchenden oder zur Untersuchung des Funkens dienenden Substanz aufgenommen wurde. Der Unterschied der Brennweite ist bei den verschiedenen Strahlen so ungeheuer, dafs wenn ein Theil des Spectrums im Brennpunkte ist, andere Theile ganz aufserhalb desselben liegen, und so kann man einigermafsen die Brechbarkeit der Strahlen beurtheilen, durch welche irgend ein besonderer Effect hervorgebracht wird. Auf diese Weise kann man die Strahlen so concentriren, dafs sich Effecte studiren lassen, die keine Untersuchung durch prismatische Analyse vertragen würden. Ich werde diese Linse, wegen ihrer Brennweite, die 2,5zöllige Linse nennen.

Absorption der unsichtbaren Strahlen durch Alkaloïde, Glucoside usw.

Ehe man diese Substanzen untersucht, hat man sie aufzulösen und dabei zunächst auf die Durchsichtigkeit des Lösemittels zu sehen. Glücklicherweise ist das nützlichste aller Lösemittel, das Wasser, im Zustande der Reinheit durchsichtig; und, was Reagentien betrifft, so kann man Schwefel- oder Chlorwasserstoffsäure als Säuren anwenden, da sie durchsichtig sind, und Ammoniak als Alkali. Wenn ich eine Substanz durchsichtig nenne, so meine ich damit nur, dafs ihre Durchsichtigkeit vergleichbar sey mit der des Quarzes. Was das Ammoniak betrifft, so absorbirt es zwar, in Menge angewandt, die brechbareren Strahlen (wenn nicht die beobachtete Absorption von einer Unreinigkeit herrührte), aber in der kleinen Menge, in der allein man es anzuwenden braucht, kann es für durchsichtig gehalten werden. Selbst Alkohol, welcher in dem Zustande, in dem er zu haben ist, eine mangelhafte Durchsichtigkeit besitzt, ist hinreichend durchsichtig, um für die in Rede ste-

benden Substanzen als Lösemittel angewandt zu werden, sobald man denselben nur in geringer Dicke nimmt.

Die von mir untersuchten Alkaloïde und Glucoside sind fast ohne Ausnahme intensiv opak, wenigstens für eine Portion der unsichtbaren Strahlen, welche sie mit einer Energie absorbiren, die meistentheils derjenigen vergleichbar ist, mit welcher Farbstoffe, wie Alizarin usw., die sichtbaren Strahlen absorbiren. Die Absorptionsweise ist auch häufig, ich möchte sagen gemeiniglich, höchst charakteristisch, so dafs sie durch diese einzige Eigenschaft von einander unterschieden werden könnten. Ueberdiefs ändert sich häufig die Absorptionsweise entschieden, je nachdem die Lösung sauer oder alkalisch ist, was ebenfalls zu deren Unterscheidung dient.

Bei der Untersuchung gebrauchte ich gewöhnlich eine kleine Zelle mit Quarzwänden, zuweilen auch ein keilförmiges Gefäfs, dessen gegeneinander geneigten Wände ebenfalls von Quarz waren. Nachdem die Zelle mit dem Lösemittel gefüllt worden, wurde eine kleine Menge der Substanz hineingeschüttet, und, unter bisweiligem Umrühren der Flüssigkeit, der Fortgang der Absorption während der allmählichen Lösung der Substanz verfolgt. Auf diese Weise ist es leicht, die charakteristische Phase der Absorption festzuhalten und durch den Stecher zu registriren. Wenn Minima der Opacität eintreten, so ist es am besten diejenige Stufe der Absorption festzuhalten, bei welcher sie wohl entwickelt sind. Wenn keine Minima eintreten, wird ein gröfserer oder geringerer Theil der brechbareren Region rasch absorbirt, und darauf nimmt die Absorption nach der weniger brechbaren Seite langsam ab. Ist sie einmal mäfsig stationär geworden, so mag man die Gränze der durchgelassen Strahlen markiren. Es scheint wünschenswerth, nicht über diesen Punkt in der Absorption hinaus zu gehen, damit nicht eine mögliche Unreinigkeit in der Substanz, welche, wenn sie das Ganze dieser Substanz gebildet hätte, die Strahlen von niederer Brechbarkeit absorbirt haben würde, sich bemerklich zu machen anfinge, und

man deren Absorption verwechselte mit der der untersuchenden Substanz.

Alle metallischen Spectra sind discontinuirlich, was verhindert, die Absorptionsweise einer starren oder flüssigen Substanz ganz so gut zu beobachten, wie im Sonnenspectrum, abgesehen von dessen gröfserer Intensität; es stört sehr die Beobachtung schmaler Streifen, wie sie sich durch die Absorption gewisser Gase im sichtbaren Spectrum zeigen und von welchen das Chlorigsäure-Gas (ClO_4) ein glänzendes System im unsichtbaren Theil des Sonnenspectrums darbietet. Fände in einem Theil des Spectrums, wo zuvor eine helle Liniengruppe mit schwächerem Licht an beiden Seiten bis zu gewissem Abstande sichtbar war, eine allgemeine Absorption statt, so ist klar, dafs auf einer gewissen Stufe der Absorption die helle Gruppe isolirt gelassen würde, und man dann den Effect mit einem Maximum von Durchsichtigkeit verwechseln könnte. In zweifelhaften Fällen dieser Art ist es nöthig die Elektroden von einem anderen Metall zu nehmen und dessen Spectrum zu gebrauchen, doch ist practisch die Schwierigkeit nicht so grofs, als man glauben könnte.

Es ist wünschenswerth ein Metall zu wählen, dessen Spectrum hell und mäfsig continuirlich ist in der Region, in welcher die unterscheidenden Charaktere der Absorption am wahrscheinlichsten auftreten werden. Im Allgemeinen ziehe ich zur Untersuchung der hier betrachteten Substanzen das Zinn vor, und zwar als breite Elektroden (oder wenigstens einer breiten) aus folgenden Gründen. Das Zinn nämlich ist in der brechbarsten Region schwach, obwohl es nach einer langen Strecke von Schwäche eine ziemlich starke Linie zeigt, zwischen der zweiten und dritten starken Aluminiumlinie. Bei combinirter Stärke und Continuität eignet sich das Kupfer gut für die sehr brechbare Region, in welcher das Zinn schwach ist. Dagegen ist das Quecksilber, welches in der Form von amalgamirtem Zink angewandt werden kann, das reichste Metall für

die unsichtbare Region eben jenseits des sichtbaren Spectrums; doch habe ich fast ausschliefslich Zinn angewandt.

Die Fig. 2 Taf. II giebt die in den Lösungen verschiedener Alkaloïde und Glucoside beobachteten Absorptionsstreifen.

Es bezeichnet darin:

a die Hauptlinien des Zinks
b die Streifen im Strychnin
c » » » Brucin
d » » » Morphin
e » » » Codeïn
f » » » Narcotin
g » » » Narceïn
h » » » Papaverin
i » » » Caffeïn
k » » » Corydalin
(*b* bis *k*: gelöst in verdünnter Schwefelsäure)
l » » » Piperin, in Alkohol
m » » » Aesculin
n » » » Phlorizin
(*m*, *n*: in verdünntem Ammoniak)
o » » » Phlorizin, in verd. Schwefelsäure
p » » » Salicin, in Wasser
q » » » Arbutin, in Wasser

Die starken (*bold*) Zinklinien sind als Anhaltpunkte gegeben; allein die Beobachtungen wurden mit Zinn-Elektroden gemacht. Der Rand an der Linken ist die Gränze des sichtbaren rothen Lichts auf einem Schirm.

Obgleich der centrale Theil der Durchsichtigkeits-Maxima in dieser Figur gemeiniglich weifs gelassen worden ist, um Irrthümer zu vermeiden, so darf der Leser doch nicht voraussetzen, dafs dieser Theil des Spectrums keine Absorption erleide. Im Gegentheil ist er, wenn die Lösung die Concentration hat, welcher der Figur entspricht, mehr oder weniger geschwächt, und er verschwindet ganz, wenn die Menge der Substanz in der Lösung vergröfsert wird, während sich zugleich der Rand des ersten Absorptionsstreifen *etwas* nach dem Roth hin schiebt und die Absorption gewöhnlich an diesem Rande ziemlich scharf ist.

Die Messungen wurden genommen an den Punkten, wo das Licht aufhörte merklich zu seyn und in der Figur repräsentirt sind durch die Gränze des gleichförmigen Schwarz und schattirten Weifses. Die Schattirung repräsentirt nur den allgemeinen Effect; da die Abstufung der Helligkeit nicht aufgezeichnet worden ist. Sie dehnt sich in der Figur im Allgemeinen zu sehr gegen die Linke des Randes des ersten schwarzen Streifen aus, und repräsentirt demgemäfs die Absorption an jener Gränze nicht hinlänglich bestimmt.

Ein Blick auf die Figur zeigt, wie verschiedenartig die Strahlen von hoher Brechbarkeit durch die untersuchten Substanzen absorbirt werden. In der That würde dieses eine Kennzeichen zur Unterscheidung jeder dieser Substanzen von den andern dienlich seyn, nur nicht Morphin von Codeïn und Caffeïn von Salicin. Die punktirte Linie in der Figur fürs Aesculin bezeichnet den Anfang der Fluorescenz, welche bei der Linie *G* des Sonnenspectrums liegt. Eine Brucinlösung schneidet das unsichtbare Ende des Sonnenspectrums ungefähr mitten zwischen den Linien *S* und *T* ab, und demgemäfs nicht weit von dem Ende derjenigen Region, die, um gesehen zu werden, ein Prisma und eine Linse von Quarz erfordert. Wenn demgemäfs diese Substanzen im Sonnenlicht untersucht werden, sind ihre unterscheidenden Kennzeichen fast ganz unwahrnehmbar, indem die Lösungen einiger ganz durchsichtig erscheinen und die von andern nur die äufsersten Strahlen bis zu gröfserem oder geringerem Abstande fortnehmen. Nur beim Aesculin liegt das Maximum der Opacität innerhalb des Sonnenspectrum; allein selbst in diesem Fall erhalten wir nur eine schwache Idee von der grofsen Zunahme der Durchsichtigkeit aufserhalb desselben.

Die in der Figur abgebildete Wirkung der Säuren und Alkalien auf die Glucoside ist eine gleichförmige. Wenn eine zuvor neutrale Lösung alkalisch gemacht wird, beginnt die Absorption etwas früher, wenn sie sauer gemacht wird, etwas später. Beim Salicin ist nur eine Andeutung von

dieser Veränderung, die innerhalb der Gränzen der Beobachtungsfehler fällt; allein in anderen Fällen ist sie ganz wahrnehmbar, und beim Phlorizin ist die durch eine Säure bewirkte Verschiebung des Absorptionsstreifen sehr grofs. Das Fraxin (oder Paviin) stimmt in allen seinen optischen Eigenschaften merkwürdig mit dem Aesculin. Nur liegt das Absorptionsmaximum dem Roth etwas näher und die Farbe des fluorescirenden Lichts entspricht einer etwas geringeren mittleren Brechbarkeit.

Das Chinin zeigt kein entschiedenes Durchsichtigkeitsmaximum. Bei dieser und, mit einer Ausnahme, bei allen übrigen beobachteten Basen, wird die Absorption, wenn überhaupt verändert, in umgekehrter Weise wie bei den Glucosiden verändert, sobald man die Base durch Ammoniak in Freiheit setzt.

Absorptionsstreifen kommen auch bei neutralen Substanzen vor, z. B. beim Cumarin und Paranaphthalin; welches letztere ein System solcher Streifen in dem unsichtbaren Theil des Sonnenspectrums zeigt.

Aconitin, Atropin und Solanin zeigen keine Absorptionsstreifen, sondern nur eine allgemeine Opacität für die brechbareren Strahlen. Freilich ist das letztere, gelöst in verdünnter Schwefelsäure, merkwürdig transparent für diese Klasse von Körpern, während die Lösung, wenn die Base in Freiheit gesetzt ist, entgegen dem Verhalten bei anderen Basen, viel opaker wird, allein die Absorption ist unbestimmt. Ich bin indefs ungewifs hinsichtlich der Reinheit des angewandten Stoffes, obwohl er weifs und regelmäfsig krystallisirt war. Es wäre ein Leichtes, mehre solcher Stoffe zu untersuchen, allein das Vorhergehende reicht hin, den Werth des Studium der Absorption sehr brechbarer Strahlen darzuthun, indem es unterscheidende Kennzeichen wenig bekannter Substanzen liefert.

(Schlufs in einem der nächsten Hefte).

III. *Ueber das Magnetisiren der Stahlstäbe; von M. L. Frankenheim.*

Bei den Mitteln, die man anwendet um einen Stahlstab vermittels eines Magnets zu magnetisiren, hat man vornehmlich zwei Punkte berücksichtigt: dafs ein jeder Punkt des Stabes der zersetzenden Wirkung beider Pole ausgesetzt werde, und dafs der dadurch erregte Magnetismus nicht wieder verloren gehe, wenn der magnetisirende Stab entfernt wird. Ein dritter, ebenfalls zu beachtender Punkt ist die *Zeit*. Man nimmt nun zwar fast allgemein an, dafs der Magnetismus um so kräftiger sey, je länger der Stab der Wirkung des Magnets ausgesetzt war; aber über das Verhältnifs der Wirkung zur Dauer der Erregung fehlt es bisher an jeder Beobachtung.

Um diese Frage zu beantworten haben die HH. Herrmann und Scholtz auf meine Veranlassung gemeinschaftlich eine Reihe von Beobachtungen gemacht und die Resultate in zwei Abhandlungen veröffentlicht:

De naturali magnetismo in chalybem inducendo quanto momento sit tempus, auctor Rich. Herrmann. August 1863.

Quanti sit momenti tempus in magnetismo inducendo, certa quadam fluidi galvanici intensitate adhibita, auctor Rob. Scholz. December 1863.

Die folgende Abhandlung beruht zum grofsen Theil auf diesen Untersuchungen. Indessen sind darin viele, theils von andern in meinem Laboratorium arbeitenden jungen Männern, theils von mir selbst gemachte Beobachtungen mit verarbeitet.

Das Verfahren.

Die magnetischen Untersuchungen an Stahlstäben werden durch die Unmöglichkeit, eine Beobachtung mit demselben Stabe zu wiederholen, sehr erschwert. In einem Eisenstabe, der aus der galvanischen Spirale genommen ist,

stellt sich der frühere Zustand in kurzer Zeit fast vollkommen wieder her. Ein Stahlstab wird dadurch auf die Dauer verändert. Wenn ihm durch eine vorsichtige Behandlung mit dem Anker und mit schwachen Magneten die Wirkung nach Aufsen auch fast vollständig genommen ist, so bleibt seine Fähigkeit Magnetismus anzunehmen dennoch von der anfänglichen sehr verschieden. Und wird er durch Erhitzung von allem Magnetismus befreit, so reicht der geringste Unterschied in der Härtung oder dem Anlassen hin, um ihn zu einem magnetisch andern Stabe zu machen.

Statt also, wie in weichem Eisen, die Beobachtungen an einem und demselben Stabe zu wiederholen und dadurch von individuellen Einflüssen zu befreien, mufs man zu jeder Beobachtung an Stahl einen neuen oder neugeglühten Stab nehmen und um mittlere Werthe mit einiger Zuversicht aufstellen zu können, stets ihrer mehrere von möglichst gleicher Beschaffenheit besitzen.

Die magnetische Kraft der Stäbe wurde an einem mit Dämpfer versehenen Stahlspiegel gemessen. Die Entfernung des Spiegels von der Scale betrug 18 Centimeter. Die Längen-Axe des Stabes lag im magnetischen Aequator und mit der Mitte des Spiegels in *einer* geraden Linie. Die Scale war in $\frac{2}{3}$ Decimeter getheilt, so dafs $\frac{2}{3}$ Millimeter sicher geschätzt werden konnten. Die Ablesung geschah auf gewöhnliche Weise mit dem Fernrohr.

Die vollständige Beobachtung bestand aus drei Ablesungen, den Ablenkungen des Spiegels, wenn der Stab diesem mit seinem Nordpol oder mit seinem Südpol zugekehrt oder ganz entfernt wurde. Der Einflufs der Drehung des Fadens, der von einer molecularen Bewegung der Seide herrührt und wie alle Bewegungen dieser Art sehr langsam war, wurde dadurch beseitigt. Der Spiegel war immer sehr nahe im Meridian eingestellt.

Die magnetische Kraft des Spiegels wurde der Tangente des Ablenkungs-Winkels proportional gesetzt und dieser aus den abgelesenen Scalen-Theilen berechnet, und da es nicht auf die Winkel selbst, sondern nur auf die Verhältnisse

der Tangenten ankam, wurden die Scalen-Theile mit Hülfe einer Corrections-Tabelle auf die Tangential-*Verhältnisse* reducirt. Wo in der Folge von Ablenkungen die Rede ist, sind immer die *bereits reducirten*, den Tangenten proportionalen Gröfsen gemeint.

Andere Correctionen, die sonst bei Spiegel-Ablesungen angewendet werden, sind den Fehlern gegenüber, welche aus der Ungleichförmigkeit der magnetischen Vertheilung und der Verschiedenheit der Stäbe selbst hervorgehen, ganz überflüssig.

Die Entfernung des Stabes vom Spiegel betrug je nach den Dimensionen und der Intensität zwei bis sieben Decimeter. Sie war bei allen zusammengehörigen Beobachtungen, deren Verhältnisse bestimmt werden sollten, genau dieselbe. Um eine angenäherte Vergleichung auch bei ungleicher Entfernung möglich zu machen, wurde bei gleichen Kräften die Ablenkung den Stäben der Entfernung proportional gesetzt, also die Kräfte dem Producte der Ablenkung und des Cubus der Entfernung. Ich habe mich überdiefs durch viele unmittelbare Versuche überzeugt, dafs bei den Dimensionen der Apparate dadurch eine für den vorliegenden Zweck vollkommen genügende Annäherung erreicht wird.

Von den Stäben waren vier aus Gufseisen, cylindrisch, 62 Millim. lang, etwa 11,3 Millim. dick. Alle übrigen aus Rundstahl gleicher Art geschnitten, 11 Millim. dick und von verschiedener Länge, nämlich 50, 79, 100 und 150 Millim. Länge. Die Stäbe von 150 waren wahrscheinlich blau angelassen, von den übrigen besafs ich drei Arten: *weiche*, die nach dem Glühen langsam abgekühlt waren, *blau angelassene* und *glasharte*. Sie wurden entweder durch einen Hufeisen-Magnet oder eine galvanische Spirale magnetisirt.

In dem letzten Falle wurde eine Tangenten-Bussole und ein Rheostat eingeschaltet; und da der Strom für die Bussole zu stark war, so wurde diese in eine Nebenleitung

gebracht, deren Verhältnisse zur Hauptleitung, in welcher sich die Spirale befand, bei allen zusammengehörigen Versuchen unverändert blieb. In die Spirale kam der immer etwas kürzere Stab, und die Kette wurde entweder geschlossen und geöffnet, während der Stab in der Spirale lag; oder der Stab wurde, während die Kette geschlossen blieb, in die Spirale eingeschoben und aus ihr entfernt. Die Zeit seines Verweilens in der geschlossenen Kette wurde genau gemessen.

Die hufeisenförmige Lamelle, deren wir uns gewöhnlich bedienten, trug etwa $1\frac{1}{2}$ Kilogrm., und wurde durch ein Blättchen Papier von etwa 0,044 Millim. Dicke, das ihr vorlag und ihre Berührung durch den Stab verhinderte, noch beträchtlich geschwächt. Aber ihre Wirkung war für die Versuche hinreichend und wurde durch das Papier, welches die Bewegungen des Stabes gleichförmiger machte, vor störenden Erschütterungen geschützt. Zu stärkerer Erregung diente ein kräftiger Hufeisen-Magnet, der gegen 25 Kilogrm. trug.

Die Kraft, welche die Lamelle mit Papier durch wiederholtes Anlegen eines 50 oder 79 Millim. langen Stabes ertheilen konnte als Einheit gesetzt, war die Kraft, welche die Lamelle ohne Papier unter gleichen Umständen erregte, = 1,38.

Die cylindrischen Stäbe wurden der Lamelle, wenn nicht eine andere Lage angegeben ist, wie ein Anker vorgelegt, so dafs die Mitte der Stab-Länge in der geometrischen Axe der Lamelle zu liegen kam, blieben dort 1 bis 10 Sekunden ruhig liegen, wurden dann aber mit sorgfältiger Vermeidung jeder Drehung oder Schiebung von der Lamelle entfernt und sogleich auf ihre magnetischen Momente am Stahlspiegel untersucht.

In anderen Versuchs-Reihen folgten Anlegen und Abnehmen des Stabes so schnell auf einander, dafs sein Verweilen am Magnete keine $\frac{1}{8}$ Sekunde betragen haben kann. Wir bezeichnen dieses als *momentan*. Dasselbe gilt von der Magnetisation durch eine galvanische Spirale.

Ein einmaliges Anlegen an einen Magneten oder eine Spirale mag ein *Impuls* heifsen. Die Impulse unterscheiden sich also durch die Beschaffenheit des Erregers, der in Galvanismus oder in Stahl-Magnetismus bestehen konnte, durch dessen Intensität, durch die Art des Anlegens und besonders durch die *Dauer* desselben.

Der durch einen Impuls magnetisirte Stahlstab wurde an dem Spiegel beobachtet und dann in der Regel sogleich einem zweiten, dem ersten ganz gleichen Impuls unterworfen, dessen Wirkung ebenfalls am Spiegel beobachtet und damit so lange fortgefahren, bis der Magnetismus nicht weiter stieg. Dieses von der Beschaffenheit der Impulse abhängige *Maximum* konnte natürlich durch Drehen oder Schieben des Stabes an der Lamelle oder Anwendung eines stärkern Magneten erhöht werden; als *absolutes Maximum* wollen wir das magnetische Moment bezeichnen, welches durch Streichen an dem oben erwähnten starken Hufeisen-Magnete hervorgebracht werden konnte.

Die Wirkung des ersten Impulses.

Der erste Impuls war immer der kräftigste, die folgenden wirkten immer schwächer und in der Nähe des Maximums wurde der Erfolg unsicher, indem ein neuer Impuls den Magnetismus bald schwächer bald stärker machte, aber beides in so geringem Maafse, dafs die Höhe des Maximums nur innerhalb sehr enger Gränzen unsicher blieb. Zuweilen hatten die Stahlstäbe, noch ehe sie dem Versuch unterworfen wurden, ein gewisses magnetisches Moment erlangt. Betrug dieses nicht über 0,02 von demjenigen, welches sie durch den ersten Impuls erlangten, so wurde als Wirkung des ersten Impulses die Differenz der vor und nach ihm gefundenen magnetischen Momente betrachtet. War der anfängliche Magnetismus gröfser, so wurde der Stab verworfen.

In der folgenden Tabelle sind die Stäbe nach ihrer Länge und ihrer Härte geordnet.

Die *erste* Spalte enthält die Nummer des Stabes,

die auch in den später anzuführenden Beobachtungen bleibt.

Die *zweite* Spalte enthält den *Härte-Grad* in den drei Stufen, *weich* (*w*), *blau angelassen* (*bl.*) und *glashart* (*h*).

Die *dritte*, die Art der magnetischen Erregung, (*G*) durch Galvanismus, (*L*) durch die Lamelle.

Die *vierte*, die Dauer der magnetischen Einwirkung in Sekunden; (*M*), wo sie momentan war.

Die drei (a) (a_1) und (m) überschriebenen Spalten sind die Gröfsen der *reducirten* Ablenkung, (a) für den ersten Impuls, (a_1) für den zweiten, (m) die durch Wiederholung *dieses* Impulses erlangte höchste Intensität. Die Ablenkungen bei verschiedenen Stäben beziehen sich aber nicht immer auf dieselbe Entfernung, sind also nicht vergleichbar. In einigen Fällen, wo die Wirkung schon beim zweiten Impulse unregelmäfsig war, oder das Maximum durch schnelle Wiederholung der Impulse, deren Wirkung nicht immer gemessen wurde, erreicht wurde, ist a_1 weggelassen.

Die beiden letzten Spalten $\left(\frac{a}{m}\right)$ und $\left(\frac{a_1}{m}\right)$ sind die Verhältnisse der Wirkung der ersten zwei Impulse zu dem zu ihnen gehörigen Maximum. Wo a_1 fehlt, fehlt natürlich auch $\left(\frac{a_1}{m}\right)$.

Tabelle über die Wirkungen des ersten Impulses im Verhältnifs zu dem dazu gehörigen Maximum.

No.	Härte	Erregungsweise	Dauer	a	a_1	m	$a:m$	$a_1:m$
			50 Millim. lange Stäbe.					
1	*w*	*G*	2″	1,43	1,55	1,68	0,85	0,92
2	»	»	*M*	0,67	—	0,80	84	—
3	*bl*	*L*	2″	2,64	2,82	3,26	0,81	0,87
4	»	»	2	2,75	2,97	3,57	77	83
5	»	»	2	3,68	4,02	4,72	78	85
6	»	»	2	2,52	2,75	3,29	77	84

No.	Härte	Erregungsweise	Dauer	a	a_1	m	$a:m$	$a_1:m$
7	*bl*	*L*	1″	4,17	4,68	5,64	0,74	0,83
8	»	»	1	1,40	1,61	1,81	77	91
9	»	»	*M*	2,07	2,27	2,48	84	92
10	»	»	»	2,52	2,65	3,29	77	80
11	»	*G*	10″	1,83	—	2,31	79	—
12	»	»	*M*	2,14	—	2,70	79	—
13	*h*	*L*	2″	2,74	2,99	3,65	0,75	0,82
14	»	»	2	2,37	2,82	2,07	82	91
15	»	*G*	*M*	1,60	1,75	2,01	80	87
16	»	»	»	3,21	3,38	3,62	87	93
17	»	»	»	0,44	0,52	0,57	77	91

79 Millim. lange Stäbe.

No.	Härte	Erregungsweise	Dauer	a	a_1	m	$a:m$	$a_1:m$
1	*w*	*G*	*M*	2,32	2,54	2,80	0,80	0,88
2	»	»	»	2,05	2,24	2,51	82	90
3	»	»	»	2,22	2,51	2,73	81	92
4	*bl*	*G*	3″	4,91	5,71	6,26	0,78	0,92
5	»	*L*	2	5,82	6,29	7,86	74	80
6	»	»	*M*	5,73	6,78	7,68	75	88
7	»	»	2″	8,43	9,58	10,80	78	89
8	»	*G*	*M*	2,46	2,79	3,31	74	84
9	*h*	*G*	*M*	4,31	4,76	5,37	0,80	0,89
10	»	»	»	5,54	6,12	6,72	82	90
11	»	»	5″	5,29	5,84	6,43	82	91

100 Millim. lange Stäbe.

No.	Härte	Erregungsweise	Dauer	a	a_1	m	$a:m$	$a_1:m$
1	*w*	*G*	5″	2,14	2,27	2,81	0,76	0,81
2	»	»	*M*	1,96	—	2,73	72	—
3	»	*L*	»	6,66	7,00	8,82	76	79
4	»	»	»	6,64	7,14	8,67	77	86
5	»	»	»	6,74	7,56	8,81	71	86
6	*bl*	*L*	5″	5,20	5,64	6,37	0,82	0,89
7	»	*G*	5″	6,83	8,10	9,06	75	89
8	»	»	*M*	7,07	8,17	9,32	76	88
9	*h*	*G*	5″	8,83	9,76	11,03	0,81	0,89
10	»	»	*M*	8,39	8,94	10,15	83	92
11	»	»	»	5,87	6,18	7,18	82	90

150 Millim. lange Stäbe.

No.	Härte	Erregungsweise	Dauer	a	a_1	m	$a:m$	$a_1:m$
1	*h*	*G*	5″	7,07	7,74	8,62	0,82	0,90
2	»	»	5″	7,05	7,72	8,79	81	88
3	»	»	*M*	6,78	7,42	8,28	82	90

No.	Härte	Erregungsweise	Dauer	a	a_1	m	$a:m$	$a_1:m$
4	*h*	*G*	*M*	7,06	7,78	8,53	0,83	0,91
5	»	»	5″	7,23	7,96	8,82	82	93
6	»	»	5″	7,65	—	9,32	82	—
7	»	»	*M*	7,90	—	9,81	82	—
8	»	»	»	7,56	0,26	9,57	75	83
				Gufseiserne Stäbe, 61 Millim. lang.				
1	*h*	*L*	5″	5,22	5,98	6,43	0,81	0,93
2	»	»	5″	3,72	—	4,76	78	—
3	»	»	5″	4,96	—	5,61	78	—
4	»	»	*M*	3,79	4,02	4,93	77	82

Resultate der Tabelle.

Ordnet man die Werthe von $a:m$ nach der Länge und Härte der Stäbe, der Art und Dauer ihrer Magnetisirung, so ergeben sich folgende *mittlere Werthe.*

Die mittlere Wirkung des *ersten* Impulses, $a:m$.

Einflufs der Länge	Anzahl der Stäbe	Maximum	Minimum	Mittel
Stäbe von 50 Millim.	17	0,87	0,74	0,797
» » 79 »	11	82	74	781
» » 100 »	11	83	71	774
» » 150 »	8	83	75	811
Einflufs der Härte				
Weiche Stäbe	10	0,85	0,71	0,784
Blau angelassene Stäbe	18	84	74	775
Glasharte Stäbe	19	87	75	812
Gufseisen	4	81	77	785
Einflufs der Magnetisirung				
durch galvanische Spiralen	30	0,87	0,72	0,801
durch Stahl-Lamellen	21	84	71	777
Einflufs der Dauer				
10 Sekunden	1	—	—	0,790
5 »	13	0,82	0,75	799
2 »	9	85	74	788
1 »	2	77	74	755
Eine Sekunde und mehr	25	84	74	791
momentan	26	87	71	792
Sämmtliche Stäbe	51	0,87	0,71	0,791

Aus diesen Tabellen ergiebt sich das interessante Resultat, dafs das Verhältnifs zwischen den magnetischen Wirkungen des ersten Impulses und des durch Wiederholung desselben erreichbaren Maximums nur innerhalb sehr engen Gränzen schwankt. Bei den durch Galvanismus magnetisirten Stäben ist diese Gröfse zwar $\frac{1}{31}$ gröfser als bei den übrigen, aber dieser Unterschied rührt vermuthlich von dem Umstande her, dafs die vielen Berührungen, welche zu dem durch die Lamelle hervorgebrachten Maximum nothwendig sind, in der Regel nicht genau dieselbe Kante des Stabes getroffen haben, so dafs das Maximum dadurch etwas zu grofs und der Einflufs des ersten Impulses, der natürlich nur *eine* Kante traf, verhältnifsmäfsig zu klein sind; und ich möchte daher den für die galvanisch magnetisirten Stäbe angegebenen Coëfficienten, vorausgesetzt, dafs er für beide Methoden dieselbe Gröfse hat, für richtiger halten.

Was die Beschaffenheit der Stäbe betrifft, so findet zwischen Stäben verschiedener *Dimensionen* kein merklicher Unterschied statt; dafs die Stäbe von 150 Millim. einen höhern Coëfficienten haben, rührt von ihrer Magnetisirung durch galvanische Spiralen her, da sie wegen ihrer Länge nicht füglich an die einander nahe stehenden Arme der Lamelle gelegt werden konnten.

Auch die *Härte* ist ohne entscheidenden Einflufs. Denn dafs der Unterschied zwischen glasharten und weichen Stäben kein constanter ist, ergiebt sich aus den blau angelassenen, deren Coëfficient kleiner ist, als die der übrigen, sowohl härteren als weicheren Stäbe. Für das spröde Gufseisen ergiebt sich derselbe Werth.

Am merkwürdigsten ist jedoch das Resultat der letzten kleinen Tabelle. Das Verweilen des Stabes am Magneten oder an der Spirale bringt genau dieselbe Wirkung hervor es mag 5 Sekunden oder nur einen Moment, d. h. höchstens $\frac{1}{8}$ Sekunde betragen haben. Es ist dieses um so auffallender, als die Zeit für den Magnetismus unleugbar

von grofsem Einflusse ist. Ich werde auf diesen Umstand noch später zurückkommen.

Aehnliche Resultate ergeben sich auch aus der Gröfse des zweiten Coëfficienten $a_1 : m$, nur dafs hier, wo die Fehler bei der Beobachtung von a_1 zu denen von a noch hinzutreten, die Abweichungen beträchtlicher sind.

Tabelle über die mittlere Wirkung des zweiten Impulses $a_1 : m$.

Einflufs der Länge.	Anzahl der Stäbe	Maximum	Minimum	Mittel
Stäbe von 50 Millim.	14	0,93	0,86	0,872
» » 79 »	11	92	80	885
» » 100 »	10	92	79	869
» » 150 »	6	93	83	892
Einflufs der Härte.				
Weiche Stäbe	8	0,92	0,79	0,867
Blau angelassene Stäbe	16	92	80	865
Harte Stäbe	11	93	82	895
Gufseisen	2	93	82	875
Einflufs der Magnetisirung.				
Durch galvanische Spiralen	20	0,93	0,81	0,885
Durch Stahl-Lamellen	23	93	79	861
Einflufs der Dauer.				
5 Sekunden	9	0,93	0,81	0,893
2 »	9	92	82	859
1 »	2	91	83	870
Eine Sekunde und mehr	20	93	83	875
momentan	23	93	81	879
Sämmtliche Stäbe	43	0,93	0,79	0,877

Also tritt auch hier die Unabhängigkeit der Coëfficienten von der Dauer der Magnetisirung auf das Entschiedenste hervor.

Die galvanischen Ströme, welche zum Magnetisiren verwendet wurden, unterschieden sich in ihren Extremen nur wie 1 : 1,5; aber die Spiralen waren bei den längeren Stäben etwa noch einmal so lang als bei den kürzeren. Zum Magnetisiren durch Stahlmagnete wurde in den überwiegend zahlreichsten Versuchen die oben erwähnte Lamelle mit

Papier angewendet. Allein in einigen Fällen war die Lamelle ohne Papier, also kräftiger und einige Male auch der Magnet stärker. Das Verhältnifs der durch die erste Berührung erlangten Intensität zum Maximum, welches durch Wiederholung derselben Erregungsweise erlangt werden konnte, blieb stets innerhalb der Gränzen der in den Tabellen mitgetheilten Beobachtungen. Die magnetischen Kräfte der beobachteten Stäbe, man mochte die durch die kleine Lamelle oder die durch ein sehr kräftiges System von Hufeisen-Lamellen erregten Wirkungen vergleichen, verhielten sich etwa wie 1 : 40. Es hat daher die Annahme eine hohe Wahrscheinlichkeit für sich, dafs die magnetischen Momente, welche der erste und der zweite Impuls in einem bisher nicht magnetisirten Stahl- oder Gufseisen-Stab erregen, zu dem Maximum, welches durch Wiederholung dieser Impulse zu erreichen ist, in einem constanten Verhältnisse stehen, welches unabhängig ist von den Dimensionen und der inneren Beschaffenheit der Stäbe und von der Beschaffenheit der Impulse, was ihre Dauer und Intensität betrifft und vermuthlich auch von der Art der Erregung; sie mag durch Magnete oder durch Galvanismus bewirkt werden.

In den Tabellen sind blofs zwei Impulse angegeben. Aber die Anzahl der beobachteten war weit gröfser, und mehrmals wurde die Wirkung eines jeden Impulses beobachtet, bis man überzeugt war, sich dem Maximum bis auf eine nicht mehr wahrnehmbare Gröfse genähert zu haben. Aber es war unmöglich die Reihe von Zahlen, die man dadurch erlangt, zu irgend einer brauchbaren Formel zu verwerthen. In Versuchen, bei denen alle Sorgfalt beobachtet war, fanden sich für die ersten und die folgenden Impulse die reducirten, d. h. den Momenten selbst proportionalen Ablenkungen:

8,39 9,34 9,66 9,71 9,90 ... 10,15 Maxim.
7,07 8,17 8,84 8,73 9,15 ... 9,32 Maxim.
8,88 9,76 10,08 10,43 10,27 10,31 ... 11,03 Maxim.

In der ersten Reihe nahm die Intensität immer zu, aber die Differenzen

8,39 0,95 0,32 0,05 0,19 0,25

zeigen, dafs die Regelmäfsigkeit bald aufhört. In der zweiten und dritten Reihe wird das magnetische Moment durch neue Impulse bald vermehrt, bald vermindert, und namentlich da, wo man sich dem Maximum bis auf einige Tausendstel des Ganzen genähert hat, fehlt dieser Wechsel niemals und ist bei der grofsen Wirkung, den eine kleine Abänderung in der Art der Erregung hervorbringt, auch nicht zu vermeiden. Die Beobachtungsfehler, welche bei dem ersten und allenfalls auch bei dem zweiten Gliede verschwinden, gewinnen, je kleiner die Wirkung ist, welche ein neuer Impuls hervorbringen kann, einen gröfsern Einflufs und machen bald jede Messung, wenigstens nach der von uns angewendeten Methode, vergeblich. Dieser Fehler trifft übrigens die Beobachtungen jeder Art von Stäben auf gleiche Weise, und der durch galvanische Spiralen erregte Magnetismus ist nicht regelmäfsiger als der, welcher durch Anlegen an die Pole eines Magnets erregt wird.

Ueber das Verfahren beim Magnetisiren herrscht die Ansicht vor, dafs bei einer Spirale das überhaupt mit ihrer Hilfe erreichbare Maximum schon in einem Moment erreicht werde, dafs aber bei der Anwendung eines Stahl-Magnets ein längeres Verweilen des Stabes erforderlich sey. Beides ist also nach unseren Versuchen nicht richtig. Bei der Spirale bedarf es, um das Maximum zu erreichen, öfterer Wiederholungen; bei der Lamelle nützt das Verweilen nicht. Bei beiden Methoden, die sich also darin vollkommen gleichen, ist die Dauer der magnetisirenden Thätigkeit gleichgültig, aber diese mufs, wenn das durch sie erreichbare Maximum erlangt werden soll, öfter wiederholt werden.

Die Umkehrung der Polarität.

Mehrere von den Stäben, welche durch Wiederholung gewisser Impulse ein relatives Maximum erlangt hatten, wurden entgegengesetzten Impulsen ausgesetzt. Der Stab wurde in umgekehrter Lage an dieselbe Spirale oder La-

melle gebracht, und dieses so oft wiederholt als die Ablenkung noch dadurch vergröfsert wurde.

Die folgende Tabelle enthält die Beobachtungen an den beiden ersten Impulsen und dem dadurch erreichten *entgegengesetzten* Maximum. Ihre Einrichtung ist der der vorhergehenden Tabelle gleich.

Die *vier* ersten Spalten enthalten die *Nummer* des Stabes, welche mit den oben gegebenen übereinstimmt, die *Härte*, die *Art* des Impulses, *G* oder *L*, je nachdem der Stab durch eine galvanische Spirale oder einen Stahl-Magneten magnetisirt war, und die *Dauer* der magnetischen Einwirkung.

In der *fünften* Spalte ist m die unmittelbar vor der Anwendung des ersten entgegengesetzten Impulses stattfindende *Intensität.*

Die *sechste* und *siebente* Spalte enthalten die Werthe b und b_1, d. h. die reducirten Ablenkungen, welche die beiden ersten Impulse von entgegengesetzter Richtung aber sonst gleicher Beschaffenheit, hervorbrachten. n ist das durch die Fortsetzung dieser Impulse entstandene Minimum oder das Maximum in entgegengesetzter Richtung.

b, b_1 und n haben, wie die Beobachtungen zeigten, immer eine der von m entgegengesetzten Richtung und sind daher als negativ bezeichnet.

Wenn diese Beobachtungen sich denen der ersten Tabelle unmittelbar anschlossen, so war $m_1 = m$, das durch die angewandten Impulse erreichbare Maximum. Wurden sie jedoch Stunden oder Tage später angestellt, so war ein Theil des Magnetismus verloren gegangen und m_1 ist alsdann kleiner als m. Wo m_1 gröfser war als m, ist der Stab in der Zwischenzeit neuen magnetischen Erregungen ausgesetzt gewesen, die aber niemals bedeutend genug waren, um auf das Vorzeichen von b einzuwirken.

No.	Härte	Erregungsweise	Dauer	m'	b	b_1	n	$\frac{m'-b}{m'-n}$	$\frac{m'-b_1}{m'-n}$
				50 Millim. lange Stäbe.					
1	*w*	*G*	2″	1,67	—0,79	—0,96	—1,11	0,88	0,95
3	*bl*	*L*	2	4,29	—0,28	—	—1,02	0,86	—
4	»	»	2	3,57	1,27	—	—2,59	79	—
5	»	»	2	5,10	1,66	—2,74	—3,95	75	0,87
8	»	»	1	2,10	1,30	—	—1,90	85	—
9	»	»	*M*	2,46	1,55	—1,75	—2,09	88	93
10	»	»	»	3,26	1,87	—2,17	—2,72	86	90
13	*h*	*L*	2″	3,66	—2,06	—2,44	—3,11	0,84	0,89
15	»	*G*	*M*	2,01	0,60	—	—1,07	85	—
16	»	»	»	3,61	1,10	—1,21	—1,81	87	89
				79 Millim. lange Stäbe.					
1	*w*	*G*	*M*	2,80	—1,36	—1,60	—1,81	0,90	0,95
2	»	»	»	2,51	—1,28	—1,70	2,00	84	93
3	»	»	»	2,73	—1,40	—1,62	1,86	90	95
4	*bl*	*G*	5″	6,26	—2,80	—3,46	—3,67	0,91	0,98
5	»	*L*	2	7,86	—3,75	—4,30	—5,47	87	91
6	»	»	*M*	7,68	—2,46	—3,34	—4,28	84	92
10	*h*	*G*	5″	6,82	—2,60	—3,06	—3,71	0,89	0,94
11	»	»	*M*	6,32	—2,81	—3,35	—3,93	89	95
				100 Millim. lange Stäbe.					
1	*w*	*G*	5″	2,70	—1,28	—1,61	—2,19	0,82	0,88
2	»	»	*M*	2,62	—1,36	—1,48	—2,29	81	83
4	»	*L*	»	8,67	—2,30	—3,36	—4,87	81	89
5	»	»	»	8,81	—2,40	—2,99	—5,89	76	80
6	*bl*	*L*	5″	6,34	—2,31	—2,93	—3,86	0,81	0,89
7	»	*G*	5	10,95	—3,62	—4,53	—5,87	86	93
8	»	»	*M*	9,22	—2,78	—3,87	—5,02	74	91
9	*h*	*G*	5″	11,17	—5,56	—6,61	—7,83	0,88	0,92
11	»	»	*M*	7,43	3,28	—3,61	—4,28	91	93
				150 Millim. lange Stäbe.					
1	*h*	*G*	5″	8,62	—3,73	—4,47	—5,25	0,89	0,94
2	»	»	5″	8,79	—2,82	—4,50	—5,41	82	94
3	»	»	*M*	8,28	—3,62	—4,29	—5,30	85	90
4	»	»	»	8,53	—3,94	—4,36	—6,66	82	85
5	»	»	5″	8,82	—4,28	—4,98	—6,96	84	89
6	»	»	5	9,32	—	—4,47	—5,38	—	93
7	»	»	*M*	9,81	—4,11	—	—6,12	87	—
8	»	»	»	9,57	—2,68	—3,23	—4,15	89	93

No.	Härte	Erregungsweise	Dauer	m'	b	b_1	n	$\frac{m'-b}{m'-n}$	$\frac{m-b_1}{m'-n}$
1	*h*	*L*	5"	6,43	–4,07	–4,77	–5,98	0,85	0,90
2	»	»	5	4,76	2,25	—	3,39	87	—
3	»	»	5	5,61	3,33	—	4,80	86	—
4	»	»	*M*	4,93	2,54	3,19	4,02	83	91

Resultate der Tabellen.

Es war längst bekannt, dafs der durch Streichen erregte Magnetismus weit leichter zerstört wird als er erzeugt war, und dafs wenige Striche hinreichen sogar eine entgegengesetzte Polarität hervorzubringen. Dieses wird durch die Tabelle in so weit bestätigt, als *ein einziger Impuls* hinreicht die Polarität in Stäben umzukehren, welche durch eine beliebige Anzahl entgegengesetzter Impulse erregt worden war. Es versteht sich, dafs dieser Impuls, wenn er schwächer war wie die frühern, diese Wirkung nicht in gleichem Maafse hervorbringen konnte. Ob der Impuls in der Wirkung eines Stahlmagneten oder einer Spirale besteht, ist gleichgültig.

Die folgenden Impulse erhöhen natürlich die Intensität dieses Magnetismus, aber niemals liefs sich durch die Wiederholung derselben eine der früheren gleiche Kraft erlangen. Ueber das Verhältnifs dieser beiden Maxima m und n läfst sich bei der grofsen Verschiedenheit derselben kein brauchbares Resultat aus der Berechnung der mittleren Werthe erwarten. Dasselbe gilt auch von den Verhältnissen $b:n$ und $b_1:n$.

Einen besseren Erfolg gewährte die Berechnung von $\frac{m'-b}{m'-n}$ und $\frac{m'-b_1}{m'-n}$. Ich ging dabei von folgender Ansicht aus. Wenn ein noch nicht magnetisirter Stab einen Impuls empfängt, so erlangt er einen Magnetismus, der zu dem durch solche Impulse erreichbaren in einem constanten Verhältnisse steht, das wir beinahe $=0,80$ setzen können. Bei der Umkehrung der Polarität ist die gesammte erreichbare Veränderung $m'-n$, wenn n in derselben Richtung,

also bei entgegengesetzter Polarität negativ genommen wird. Durch den ersten Impuls wird die Veränderung $m' + b$ bewirkt, das Verhältnifs ist also $\frac{m'+b}{m'+n}$. Durch den zweiten Impuls steigt die Veränderung auf $m' + b_1$ und das Verhältnifs auf $\frac{m'+b_1}{m'+n}$. Diese Gröfsen entsprechen also den Gröfsen $\frac{a}{m}$ und $\frac{a_1}{m}$ der vorhergehenden Tabellen.

Es finden sich für $\frac{m'-b}{m'-n}$ folgende mittlere Werthe:

Einflufs der Länge.	Anzahl der Stäbe	Maximum	Minimum	Mittel
Stäbe von 50 Millim.	10	0,88	0,75	0,843
» » 79 »	8	91	84	880
» » 100 »	9	91	74	832
» » 150 »	8	93	82	861
Einflufs der Härte				
Weiche Stäbe	8	0,90	0,76	0,840
Blau angelassene Stäbe	12	91	74	835
Glasharte Stäbe	7	91	84	876
Gufseiserne Stäbe	4	83	87	852
Einflufs der Magnetisirung				
Durch Galvanismus	20	0,93	0,74	0,860
Durch Stahllamellen	19	90	75	841
Einflufs der Dauer				
5 Sekunden	13	0,93	0,81	0,836
1 bis 2 Sekunden	7	92	75	826
über eine Sekunde	20	93	75	830
momentan	19	91	74	847
Sämmtliche Stäbe, mittl Werth	39	0,93	0,74	0,851

Die entsprechenden Werthe für $\frac{m'-b_1}{m'-n}$ sind:

Einflufs der Länge.	Anzahl der Stäbe	Maximum	Minimum	Mittel
Stäbe von 50 Millim.	6	0,95	0,87	0,905
» » 79 »	8	98	91	941
» » 100 »	9	93	80	887
» » 150 »	7	94	85	911

Einflufs der Härte.	Anzahl der Stäbe	Maximum	Minimum	Mittel
Weiche Stäbe	8	0,95	0,80	0,899
Blau angelassene Stäbe	9	98	84	916
Glasharte Stäbe	6	95	89	920
Gufseiserne Stäbe	2	91	90	905
Einflufs der Magnetisirung.				
Durch Galvanismus	21	0,95	0,83	0,920
Durch Stahl-Lamellen	11	93	80	892
Einflufs der Dauer.				
5 Sekunden	11	0,98	0,88	0,922
2 Sekunden	4	95	87	905
2 Sekunden und darüber	15	95	87	917
momentan	17	95	80	904
Sämmtliche Stäbe, mittl. Werth	32	0,98	0,80	0,905

Die mittleren Werthe für $\frac{m'-b}{m'-n}$ und $\frac{m'-b_1}{m'-n}$ führen also insofern zu denselben Resultaten, wie die in der früheren Tabelle mitgetheilten von $\frac{a}{m}$ und $\frac{a_1}{m}$, als auch bei ihnen die Dauer des magnetischen Impulses, von der momentanen an bis zu der von 10 Sekunden, ganz ohne Einflufs ist. Der Unterschied zwischen Stäben von verschiedenen Dimensionen und Härte-Graden ist in Betracht der grofsen Differenz zwischen den Extremen sehr klein; er würde noch kleiner geworden seyn, wenn ich die von den mittleren Werthen entfernten Beobachtungen hätte weglassen wollen.

Nur die Art der Magnetisirung hat dem Anscheine nach einigen Einflufs, indem die Werthe $\frac{m'-b}{m'-n}$ und $\frac{m'-b_1}{m'-n}$ für Galvanismus etwas gröfser sind als für den Magnetismus durch Stahl, wie es auch bei $\frac{a}{m}$ und $\frac{a_1}{m}$ der Fall war. Aber auch dieser Unterschied würde vielleicht verschwinden, wenn die Stäbe immer genau mit derselben Kante an den Magneten gelegt, und vor jeder Drehung geschützt werden könnten.

Ich will die hierher gehörigen mittleren Werthe der *vier* bisher betrachteten Gröfsen noch einmal zusammenstellen.

	Erste Magnetisation		Umkehrung der Pole	
	$a : m$	$a_1 : m$	$\frac{m'-b}{m'-n}$	$\frac{m'-b_1}{m'-n}$
Durch die Spiralen	0,801	0,885	0,860	0,920
Durch die Lamellen	0,777	0,861	0,841	0,892
Für sämmtliche Stäbe	0,789	0,873	0,851	0,906

Diese Werthe sind, von kleinen Störungen abgesehen, wahrscheinlich unabhängig von den Dimensionen und der Beschaffenheit der Stäbe, so wie von der Intensität und Art des Impulses.

Der erste Impuls bringt also etwa $\frac{4}{5}$ der Wirkung hervor, welche überhaupt durch die Wiederholung dieser Impulse zu erreichen ist. Ein durch seine Einfachheit sich auszeichnendes Gesetz für die Wirkung späterer Impulse würde seyn: dafs *die Wirkung eines Impulses zu der durch dessen Wiederholung erreichbaren in einem constanten Verhältnifs stehe.*

Wenn also k dieses constante Verhältnifs ist, d das im Stabe vorhandene, e das durch den nächsten Impuls erlangte, und m das durch Wiederholung der Impulse erreichbare Moment, so müfste demnach

$$k = \frac{e-d}{m-d}$$

seyn.

Der erste Impuls bringe das magnetische Moment a_1 hervor, die folgenden $a_2\ a_3 \ldots a_n$, so würde nach dem ersten Impulse der noch zu erlangende Magnetismus $m(1-k)$ seyn; nach dem $n$ten Impulse wäre dieser Rest $= m(1-k)^n$.

Da aber m fast $\frac{4}{5}$ ist, so würde der Rest nach dem zweiten Impulse nur $\frac{1}{25}$ seyn, und nach dem fünften Impulse $\frac{1}{3125}$, also nicht mehr wahrnehmbar seyn. Dieses ist aber der Fall bei weitem nicht. Der zweite Impuls läfst

noch einen Rest von 0,127 und 4 bis 5 Impulse reichen zu einer genügenden Annäherung an das Maximum nicht hin.

Ferner würden $\frac{m'-b}{m'-n} = \frac{a}{m}$ und $\frac{m'-b_1}{m'-n} = \frac{a_1}{m}$ seyn müssen, was ebenfalls nur sehr entfernt mit den Beobachtungen übereinstimmt.

Zur Thätigkeit des Magnetismus, wenn sie auch im Wesentlichen auf jenem Gesetze beruhen sollte, treten also jedenfalls noch andere Einflüsse hinzu, welche die Wirkung beträchtlich modificiren. Wir glauben sie in einer Art *molecularer* Bewegung der magnetischen Theile zu finden, die ganz im Gegensatz zu der bisher betrachteten im hohen Grade von der Zeit und von andern auf die Anordnung der Theile einwirkenden Ursachen abhängig ist.

Einflufs von Erschütterungen auf den Magnetismus der Stahlstäbe.

Dafs die Hindernisse, welche moleculare Kräfte der Herstellung eines mechanischen Gleichgewichts eines Körpers bereiten, durch Erschütterung desselben leichter beseitigt werden, ist eine alte Erfahrung. Aehnliches ist auch im Gebiete des Magnetismus bekannt. Wertheim, Wiedemann und Andere haben interessante Versuche über den Einflufs der Torsion und anderer Arten von Erschütterungen angestellt, auch solcher, welche den Molecularzustand des Eisens bleibend verändern.

Die Erschütterungen, die wir untersucht haben, liefsen keine bleibenden Veränderungen im Stabe zurück. Es waren Schläge mit einem hölzernen Hammer, deren Intensität ich der Kraft eines von etwa 30 Centimeter herabgefallenen Gewichtes von 400 Grammen gleich schätze. Sie folgten auf einander in Perioden von $\frac{1}{2}$ Sekunde, also in 5 Sekunden fielen ihrer zehn.

Ein auf sein *Maximum* magnetisirter Stab, der, während er der Lamelle anlag, erschüttert wurde, *veränderte sich nicht.* War er aber nicht gesättigt, so stieg sein Magnetismus.

Ein 50 Millim. langer Stab, dessen Kraft = 35,9 war,

erhielt, während er wie ein Anker an den Polen der Lamelle lag, 10 Schläge binnen 5 Sekunden; er stieg auf 37,0, also um 0,031.

Von neuem erschüttert stieg er auf 37,4, also im Ganzen um 0,042.

Bei einem andern Stabe von 50 Millim. Länge und einer Kraft = 39,9 betrug das Steigen 0,022.

Aehnliche Verstärkungen wurden bei mehrern andern Stäben ohne Unterschied der Härte gefunden. Die Erschütterungen erhöhten zwar nicht das Maximum, welches auch durch bloſses Anlegen an die Lamelle erreicht worden wäre; aber sie beschleunigten es, indem eine Wirkung, welche sonst erst nach einer längern Zeit eintreten würde, durch die Erschütterung sogleich hervorgerufen wird. Je langsamer das Maximum erreicht wird, desto wirksamer ist die Erschütterung. Dieses ist z. B. bei dem Umkehren der Polarität, wo das Maximum später eintritt, als bei der ersten Magnetisirung der Fall; hier sind daher die Schläge, welche auf den Stab geführt werden, während er der Lamelle anliegt, wirksamer als dort.

Ist der Stab vom Magneten entfernt und in einer Lage, in welcher der Erdmagnetismus nicht auf ihn wirken kann, so besteht die Wirkung der Hammerschläge in einer Schwächung des Magnetismus.

Ein Stab, dessen Kraft 27,7 betrug und der von seiner Sättigung weit entfernt war, kam durch 8 halbe Sekunden-Schläge:

perpendiculär auf seine Länge,	auf 24,2	also	Verlust	0,126;
auf das Südende	22,6	»	»	184;
» » Nordende	22,0	»	»	206;
desgleichen	21,1	»	»	238;
perpendiculär auf seine Länge .	20,8	»	»	249.

Der Verlust, den ein Schlag hervorbringt ist, wie zu erwarten war, anfangs am gröſsten und nimmt allmählich ab. Bei einer gewissen Gränze wird durch die Wiederholung der Schläge die Kraft nicht weiter vermindert. Die Richtung der Schläge scheint ohne beträchtlichen Einfluſs zu seyn.

In den folgenden Versuchen trafen die Erschütterungen einen Stab, der abwechselnd der Lamelle bald anlag, bald davon entfernt war. Die Wirkung war, wie erwähnt, namentlich da beträchtlich, wo die anfängliche Polarität umgekehrt war.

Ein Stab von 50 Millim. hatte die Kraft	50,4;	
an der Lamelle liegend erschüttert	51,0	Diff. +0,06;
in entgegengesetzter Lage angelegt	—30,0;	
stieg durch Schläge auf ein Polende	—34,6	» +0,46;

Von der Lamelle entfernt und auf einem Holzblock liegend je 8mal geschlagen sank er nach und nach auf:

30,3 28,3 27,5 26,4 26,0

von neuem angelegt	—34,0;	
erschüttert	—37,0.	
Ein anderer Stab von 39,9 Kraft, gab umgekehrt angelegt	—24,0;	
nach 4 Erschütterungen am Magnet	25,8	Diff. + 1,8;
angelegt und nicht erschüttert . .	26,4	» 0,6;
angelegt und erschüttert	27,7	» 1,3;
vom Magnet entfernt, erschüttert .	20,8	» — 6,9;
angelegt und erschüttert	31,7	» +10,9.

Man sieht an diesen Versuchen, wie bedeutend die Erschütterung sowohl stärkend als schwächend wirken kann, und wenn bei ihnen auch immer 8 bis 10 Schläge angewendet wurden, so haben einige Versuche mich überzeugt, dafs auch ein einziger schon eine für unsere Apparate merkliche Wirkung hervorbringen kann.

Um den Einflufs der *Drehung* des Stabes an den Polen kennen zu lernen, wurde der Stab entweder (*a*) an *eine* Seitenlinie gelegt, oder er wurde (*b*) am Magneten gedreht.

Durch das erste Anlegen erlangte er die Kraft 10,0, also:

a	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*
18,0	19,2	19,2	20,6	20,4	21,2.

Obgleich das blofse Anlegen zuweilen keine Stärkung, ja eine Schwächung hervorbringt, hat die Drehung stets eine beträchtliche Stärkung des Magnetismus zur Folge.

Die Maxima beim Anlegen mit einer Kante und beim Drehen verhielten sich wie 1 zu 1,25 bis 1,27 und sogar ein geringes, etwa $\frac{1}{10}$ des Umfanges betragendes Drehen erhöht das Maximum schon um 1,04 bis 1,07.

Auch wenn man bei wiederholtem Anlegen die Kante wechselt, erhält man ein gröſseres Maximum, als wo dieses unterbleibt. Man muſs also, wenn man die Wirkung eines einmaligen Anlegens mit dem diesem entsprechenden Maximum vergleichen will, sehr sorgfältig verfahren und ich habe schon oben erwähnt, daſs die Unterschiede der Coëfficienten $\frac{a}{m}$ usw. (S. 56 und 65) zwischen Stäben, die durch die Spirale und durch die Lamelle magnetisirt sind, wahrscheinlich von diesem Umstande herrühren.

Auch das *Schieben* des Stabes an den Polen der Lamelle bringt eine Erhöhung des Magnetismus hervor. Sie betrug bei Stäben von 50 Millim. Länge 1,4 bis 1,5.

Daſs es bei diesen Versuchen nicht bloſs die Annäherung aller Theile eines Querschnitts an die Pole der Lamelle, sondern auch die während der magnetischen Wirkung der Lamelle stattfindende Erschütterung ist, welche die Erhöhung verursacht, geht ferner aus folgenden Ablenkungen des Stabes No. 7 von 80 Millim. Länge hervor, welcher während des Anlegens an der Lamelle einmal um seine Axe gedreht wurde, bald rechts (*R*), bald links (*L*).

	R	*L*	*L*	*R*	*R*	*R*	*L*	*L*	*R*	*R*
	5,40	5,61	5,63	5,71	5,73	5,71	5,83	5,74	5,80	5,76
Diff.	0,21	0,02	0,08	0,02	—0,02	0,12	—0,09	0,06	—0,04	

Während die Wiederholung derselben Drehung wenig oder selbst negativ wirkte, brachte ein Wechsel in der Richtung der Drehung immer eine namhafte Vermehrung hervor.

Bei dem Magnetisiren der Stahlstäbe durch Stahlmagnete sucht man nicht bloſs alle Punkte ihrer Längen-Axe zwischen die Pole des streichenden Magneten zu bringen, sondern auch alle Punkte ihres Querschnittes. Man dreht daher den Stab, wenn er cylindrisch ist, oder legt ihn auf seine verschiedenen Seitenflächen, wenn er prismatisch ist,

und schiebt ihn an dem Magneten hin und her. Aber mit dieser Manipulation, welche jeden Punkt der Oberfläche den Polen des Magnets möglichst nahe bringt, erfüllt man zugleich unbewufst eine zweite zum Gelingen führende Bedingung. Man bringt eine Erschütterung hervor, welche, wenn sie das Maximum auch nicht erhöht, doch das Eintreten desselben beschleunigt.

Bei dem Magnetisiren durch einen Elektromagneten, bei dem das Streichen gewöhnlich nicht zulässig ist, ist es daher zweckmäfsig, den Stab, während er den Polen anliegt, stark zu erschüttern und die Wirkung durch wiederholtes Oeffnen der Kette zu unterbrechen.

Die spontanen Veränderungen in dem Magnetismus von Stahlstäben.

Neben den raschen Veränderungen, welche ein Magnet durch seine Annäherung oder Entfernung im Stabe hervorbringt, und den ebenfalls schnell eintretenden Wirkungen einer Erschütterung findet noch eine andere Steigerung oder Schwächung des Magnetismus statt, deren langsames Fortschreiten in einem schroffen Gegensatze steht zu der fast gänzlichen Bedeutungslosigkeit der Zeit beim Magnetisiren.

Es ist, seitdem man Hufeisenmagnete mit starker Belastung construirt, bekannt, dafs ihre Anker nach und nach bis zu einer gewissen Gränze stärker belastet werden können. Die Anziehungskraft zwischen Magnet und Anker nimmt also mit der Zeit zu. Es erlangt ferner ein Stab von Stahl oder Eisen einen stärkeren Magnetismus, wenn er an einem Magnete Tage, als wenn er ihm Stunden angelegen hatte.

Eine andere nicht minder bekannte Beobachtung ist an den zur Sättigung magnetisirten Stahlstäben gemacht worden, welche durch blofses Liegen, ohne dafs eine Störung durch Temperatur-Wechsel oder durch die Erde oder andere Magnete hatte stattfinden können, einen Theil ihrer Kraft allmählich verlieren und erst nach längerer Zeit ein constantes magnetisches Moment erlangen. Aber über die

Länge dieser Zeit im Verhältnifs zur Abnahme fehlen alle Beobachtungen. Auch ist bei allen hierher gehörigen Beobachtungen nicht untersucht worden, welcher Theil der Abnahme der blofsen Zeit und welcher der weit kräftigeren Ursache, den Erschütterungen, angehört. Man pflegt auch anzunehmen, dafs bei einem nicht gesättigten Stabe dieser Verlust weniger zu fürchten sey.

Wenn Magnete mit ihren gleichnamigen Enden auf einander gelegt werden, so tritt eine starke Schwächung ihrer Kraft ein. Sind es z. B. Hufeisen-Lamellen, welche zur Bildung eines kräftigen Magneten über einander geschichtet werden, so wird eine Lamelle um so mehr an Kraft verlieren, als sie mehr nach innen liegt. Diese Schwächung ist jedoch gröfstentheils eine der momentan auftretenden Wirkungen der Magnete.

Beobachtungen über den allmählichen Verlust an Kraft, den Magnetstäbe blofs durch innere Ursachen erleiden, wurden auf die Weise angestellt, dafs man den Stab in eine passende Entfernung vom Magnetspiegel brachte und ohne etwas am Apparate zu verrücken, einige Stunden hindurch beobachtete. Aber die Veränderungen waren so gering und durch die moleculare Drehung des Fadens, die hier nicht corrigirt werden konnte, so unsicher gemacht, dafs wir es *vorläufig* vorzogen, zu jeder Beobachtung die gewöhnlichen drei Ablesungen vorzunehmen. Die Erschütterungen wurden zwar sorgfältig vermieden, indessen bin ich nicht sicher, ob nicht das Umlegen und Entfernen der Stäbe hin und wieder einen Fehler verursacht hat. Diese konnten aber natürlich nur in einer Vermehrung des Verlustes bestehen, so dafs die Beobachtungen ihn vielleicht zuweilen etwas *zu grofs* angeben mufsten.

In den folgenden *Tabellen* ist *Decrement* die Gröfse $\frac{a-b}{a}$, wenn a die Intensität des Magnetismus bei der ersten, unmittelbar auf die Magnetisation folgenden Beobachtung ist, b ist die einer späteren Zeit, $\frac{a-b}{a}$ also die *verhältnifsmäfsige* Abnahme.

Die *Zeiten* sind von dieser ersten Beobachtung an gerechnet, die so schnell als möglich auf die Magnetisirung selbst, etwa 2 bis 3 Minuten später, erfolgte.

Die Beobachtungen sind in zwei Tabellen vertheilt. Die *erste* enthält zunächst diejenigen, welche in den ersten Minuten nach der Magnetisirung angestellt sind. Der Uebersicht wegen sind dieser auch einige Angaben über längere Intervalle beigefügt. Die *zweite* Tabelle enthält die Decremente für Stunden und Tage. Diese längeren Zeiträume sind nur angenähert, so dafs für 45 und 80 Minuten eine Stunde, für 20 und 30 Stunden ein Tag gesetzt ist.

Das Zeichen *m* in der zweiten Tabelle bedeutet, dafs der Stab an einem sehr starken Magneten zur *Sättigung* magnetisirt war.

Die *Härte* ist wie früher in *drei* Stufen angegeben: *weich* (*w*), *blau* angelassen (*bl*) und *glashart* (*h*). Der weichen sind zufällig sehr wenige.

Einen Unterschied zwischen den durch *Spiralen* oder *Lamellen* erregten Stäben hervorzuheben zeigte sich hier als ganz überflüssig. Sie verhielten sich vollkommen gleich.

Die Ablesungen selbst bestehen in Zahlen zwischen 20 und 100, fast immer zwischen 40 und 70. Die Einheit bedeutet also schon einen Unterschied von etwa 0,002. Treten dazu die noch aus andern Quellen herrührenden Beobachtungsfehler, so darf man sich über beträchtliche Abweichungen nicht wundern. Ich habe keine Beobachtung blofs deshalb ausgeschieden, weil sie von den übrigen zu sehr abgewichen wäre.

Für eine jede Beobachtungs-Reihe ist in der *Kraft* überschriebenen Spalte die Intensität verzeichnet, welche der Stab bei der ersten Beobachtung hatte. Wenn ein Stab in mehreren Reihen vorkommt, war sein Magnetismus durch das Anlegen an eine Spirale oder Lamelle verstärkt oder geschwächt worden. Die in der Reihe angegebene Kraft ist immer diejenige, welche unmittelbar nach jener Veränderung beobachtet wurde und dann weiter abnahm.

Tabelle I.

Decremente in Minuten und Stunden.

No.	Kraft	Zeit 4—6 Minut.	Decremente	Zeit 7—12 Minut.	Decremente	Zeit 12—20 Minut.	Decremente	Zeit 1 Stunde	Decremente
				50 Millim. lange Stäbe.					
3	22,5	5'	0,001	—	—	—	—	—	—
	24,9	5	001	—	—	—	—	—	—
	47,4	—	—	—	—	—	—	1	0,015
14	29,4	4'	—	7'	0,004	—	—	2	0,015
	32,3	4	0,000	11	004	19	0,018	2	025
	34,0	4	007	12	007	—	—	1	014
	34,5	4	003	—	—	—	—	1	017
	35,4	4	003	7	003	—	—	5	013
	39,6	4	003	—	—	—	—	24	013
18	27,4	6'	0,004	—	—	—	—	24	0,031
	29,8	—	—	7'	0,000	14'	0,004	1	020
	36,0	—	—	9	008	13	008	1	015
				79 Millim. lange Stäbe.					
9	109,9	4'	0,001	—	—	17'	0,005	1	0,010
12	91,0	5'	0,001	9'	0,003	15'	0,005	—	—
13	90,3	5'	0,003	8'	0,005	12'	0,006	2	0,027
	97,0	—	—	8	001	18	003	2	013
	103,3	—	—	8	001	13	007	1	014
	104,5	5	005	11	000	—	—	2	013
	106,7	5	001	9	002	15	005	24	013
	109,2	4	003	10	006	—	—	24	026
	109,3	4	003	11	004	—	—	—	—
14	92,8	—	—	9'	0,007	18'	0,009	29	0,037
	97,5	6'	001	—	—	—	—	1	017
	106,7	4	004	8	005	—	—	1	016
	108,1	4	005	8	006	—	—	2	014
	109,8	4	005	8	006	—	—	2	021

Tabelle II.

Decremente in Stunden und Tagen.

No.	Härte	Kraft	Sättigung	Decremente in Stunden 1	Decremente in Stunden 2	Decremente in Stunden 3	Decremente in Tagen 1	Decremente in Tagen 2
				50 Millim. lange Stäbe.				
2	*w*	14,1	—	—	—	—	0,012	—
		26,9	*m*	0,016	—	—	—	—
1	*w*	7,75	—	—	—	—	0,009	—
		47,4	*m*	—	—	—	015	—
3	*bl*	47,4	—	0,015	—	—	—	—
		82,1	*m*	046	—	—	—	—
		— 60,8	—	—	0,015	—	—	—
5	*bl*	27,5	—	—	—	0,013	—	—
		29,5	—	—	—	—	0,075	—
9	*bl*	18,5	—	—	—	—	0,038	—
		27,0	—	—	—	0,026	028	—
		32,4	—	—	—	—	020	—
12	*bl*	27,6	—	—	—	0,026	0,031	0,031
		29,8	—	0,020	—	020	—	—
		31,2	—	—	—	—	019	—
		32,1	—	—	—	018	018	—
		32,3	—	022	—	—	026	—
		36,0	—	015	—	—	015	—
		120,5	*m*	—	0,027	—	—	—
		— 53,1	—	—	—	—	018	—
13	*h*	42,5	—	—	—	—	0,021	—
		43,3	—	0,023	—	—	024	—
		53,5	—	—	—	—	020	0,022
		— 31,2	—	—	0,019	—	016	—
		— 36,3	—	—	—	—	—	022
		+ 90,3	*m*	—	012	—	—	—
		— 53,5	—	—	028	—	013	016
14	*h*	29,4	—	—	0,015	—	—	—
		31,2	—	—	—	—	0,016	—
		32,3	—	—	025	—	032	—
		34,0	—	0,014	017	—	024	033
		34,5	—	017	—	—	—	023
		35,0	—	—	—	—	—	013
		39,6	—	—	—	—	—	013

No.	Härte	Kraft	Sättigung	Decremente in Stunden 1	2	3	Decremente in Tagen 1	2
				79 Millim. lange Stäbe.				
5	*bl*	41,0	—	—	—	—	0,050	—
		54,1	—	—	—	—	040	—
		90,3	—	0,023	—	—	—	—
		125,0	—	—	—	—	013	—
7	*bl*	106,0	—	—	—	—	0,030	—
		236,5	*m*	—	—	—	015	—
13	*bl*	90,3	—	—	0,027	—	0,027	—
		97,0	—	—	013	—	013	—
		99,9	—	—	—	—	022	0,022
		103,3	—	0,014	—	—	018	—
		104,5	—	—	013	—	014	—
		106,7	—	—	—	—	013	—
		109,2	—	—	—	—	026	—
		— 82,5	—	0,036	—	—	035	—
14	*bl*	82,5	—	—	—	—	0,037	—
		90,3	—	—	—	—	027	—
		91,0	—	—	—	—	033	—
		92,0	—	—	—	—	031	—
		97,5	—	0,017	—	—	017	0,017
		99,5	—	—	—	—	023	—
		99,9	—	—	—	—	022	—
		104,4	—	—	—	—	017	—
		106,7	—	0,016	—	—	026	—
		107,6	—	—	—	—	016	—
		108,1	—	—	0,014	—	—	—
		109,0	—	—	—	—	021	—
		110,0	—	—	—	—	—	017
15	*bl*	88,0	—	—	—	—	0,030	—
		252,4	*m*	—	—	—	024	—
9	*h*	109,9	—	—	—	—	0,031	—
		114,0	—	—	—	—	023	—
		118,4	—	—	—	—	—	—
		306,4	*m*	0,001	—	—	—	—
10	*h*	319,8	*m*	0,029	—	—	—	—
11	*h*	319,2	*m*	0,043	—	—	—	—
12	*h*	274,2	*m*	0,043	—	—	—	—

No	Härte	Kraft	Sättigung	Decremente in Stunden			Decremente in Tagen	
				1	2	3	1	2
100 Millim. lange Stäbe.								
1	*w*	228,3	*m*	0,008	—	—	—	—
7	*bl*	125,2	—	—	—	—	0,014	—
15	*bl*	158,6	—	—	—	0,014	—	—
		468,9	*m*	—	—	—	0,019	—
		— 45,7	—	—	—	014	028	—
		— 92,0	—	—	—	—	017	—
18	*bl*	127,9	—	—	—	—	0,021	—
		418,6	*m*	—	—	—	020	—
		— 41,8	—	—	0,023	—	—	—
9	*h*	549,4	*m*	0,015	—	—	—	—
10	*h*	521,6	*m*	022	—	—	—	—
11	*h*	193,9	—	—	—	—	0,032	—
		538,2	*m*	013	—	—	—	—
13	*h*	524,5	*m*	—	0,034	—	0,028	—
		— 42,7	—	—	—	—	036	—
		418,3	—	—	—	—	020	—
14	*h*	410,6	—	—	0,023	—	0,020	—
		427,9	—	—	—	—	020	—
		525,8	*m*	0,030	—	—	—	—
150 Millim. lange Stäbe.								
1		1143	*m*	0,032	—	—	—	—
3		1046	*m*	034	—	—	—	—
5		903	*m*	018	—	—	0,030	—
6		1096	*m*	017	—	—	—	—
7		1192	*m*	015	—	—	—	—
8		1238	*m*	015	—	—	020	—

Resultate aus den Tabellen.

Aus diesen Beobachtungen ergiebt sich also für einen keiner Erschütterung ausgesetzten Stab eine nur sehr geringe Abnahme der Kraft. Wenn man einen von einem Magneten neu erregten Stab, wie einen neuen betrachtet und demnach den mittleren Werth des Decrementes berechnet, so beträgt dieses nach der *ersten* Tabelle, von der ersten nach der Magnetisirung gemachten Beobachtung an gerechnet

Zeit	Zahl der Beobachtungen	Maximum	Minimum	Mittlerer Werth
4 — 6'	19	0,007	0,000	0,0028
7 — 12'	18	0,009	0,000	0045
12 — 19'	11	0,018	0,003	0070
1 Stunde	9	0,020	0,000	0177
2 Stunden	6	0,013	0,027	0,0178

Diese Tabelle enthält nur sieben Stäbe, ein jeder mit einer bis sieben Beobachtungs-Reihen. Das Resultat wäre jedoch nicht sehr verschieden gewesen, wenn man das Gesammtmittel aus den Mittelwerthen der Stäbe berechnet hätte.

Aus der *zweiten* Tabelle ergeben sich folgende Werthe:

	1 Stunde	2 Stunden	3 Stunden	1 Tag	2 Tage
weich	0,012 [2]	—	—	0,012 [3]	—
blau	0,020 [11]	0,019 [7]	0,019 [7]	0,023 [30]	0,022 [4]
hart	0,019 [7]	0,026 [11]	—	0,024 [16]	0,020 [7]
150 Millim.	0,022 [6]	—	—	0,025 [2]	—
Sämmtlich	0,020 [26]	0,023 [18]	0,019 [7]	0,023 [49]	0,021 [11]
Gesättigt.	0,023 [17]	0,024 [3]	—	0,023 [8]	—

Die kleinen Zahlen rechts oben in den Quadraten sind die Anzahl der Beobachtungen, aus denen der mittlere Werth genommen ist.

Diese Mittelwerthe sind, wie ein Blick auf die Tabellen zeigt, noch weit entfernt, den Grad von Genauigkeit zu haben, den man zur Berechnung auch nur einer Interpolations-Formel haben mufs. Die Zahlen in der das

Gesammtmittel enthaltenden Reihe sind für die Zeiträume von einer Stunde bis zwei Tage

0,020 0,023 0,019 0,028 0,021,

obgleich ein längerer Zeitraum nicht kleinere Zahlen haben kann als ein kürzerer. Auch stimmt die zweite Tabelle in den Decrementen für die ersten beiden Stunden mit der ersten nicht überein: hier 0,018 für beide Stunden, dort 0,020 und 0,022. Die Anzahl der Beobachtungen reichte offenbar nicht hin, um die individuellen Unterschiede in den Mittelwerthen auszugleichen.

Die Beobachtungen können ferner leicht durch Erschütterungen fehlerhaft werden, welche zwar nie so bedeutend werden können, wie bei den oben angeführten Versuchen mit Hammerschlägen, jedoch hinreichen, die Verhältnisse der schwachen Decremente in merklicher Weise zu verändern. Unstreitig rühren einige sehr hohe Decremente, besonders nach längeren Zeiträumen, von dieser Ursache her.

Die Decremente steigen von dem Moment der Magnetisirung an allmählich bis zum Intervall von 20 Minuten. Die Veränderungen, welche der Stab in den ersten 2 bis 3 Minuten erfährt, bleiben natürlich unbekannt; aber nach dem Gange, den sie nehmen, ist es wahrscheinlich, dafs das Decrement anfangs der Zeit proportional, allmählich constant wird, dafs also die Curve, welche die Zeit als Abscisse und die Decremente als Ordinate genommen, den Gang der Veränderungen ausdrückt, sich anfangs zur Abscissen-Linie in einem, wie wir sehen werden, unter vielen Umständen gleichen Winkel neigt und ihr bald parallel wird. Dieses ist schon am Ende der ersten Stunde beinahe vollständig der Fall. In der ersten Tabelle ist die Decrescenz nach zwei Stunden nicht gröfser als nach der ersten Stunde und in der zweiten Tabelle finden sich für die längeren Zeiträume fast eben so oft kleinere als gröfsere Werthe, ein Zeichen, dafs sie nahe constant sind und zwar etwa = 0,05 der Kraft betragen.

Die *Härte* der Stäbe scheint nur geringen Einflufs auf die Decremente zu üben. Von *weichen* Stäben sind die

Beobachtungen nicht zahlreich genug. Die *blau angelassenen* haben zwar nach zwei Stunden eine kleinere Abnahme erfahren, aber nach zwei Tagen eine gröfsere als die harten Stäbe. Auch die 150 Millim. langen Stäbe zeigten keinen entscheidenden Unterschied.

Was die *Sättigung* betrifft, so sollte man erwarten, dafs je näher der Stab seinem Maximum steht, desto gröfser der Verlust seyn müsse. Aber was wir schon bei anderen Gelegenheiten haben nachweisen können, bestätigt sich auch hier. Die Sättigung übt keinen durch unsere Beobachtungen nachweisbaren Einflufs aus. Die mit *m* bezeichneten Stäbe der zweiten Tabelle waren durch Streichen mit einem sehr kräftigen Magneten so stark magnetisirt wie möglich, und dennoch weicht die Decrescenz nur wenig von derjenigen der übrigen Stäbe ab, die meistens von der Sättigung weit entfernt waren. Wenn also die Abnahme der magnetischen Kraft von dem Grade der Sättigung oder der Härtung abhängen sollte, so beträgt der Unterschied höchstens 0,1 bis 0,2 von der Abnahme selbst.

Dasselbe gilt auch von den Decrementen bei den Stäben, deren Kraft als negativ bezeichnet ist, weil die erste in ihnen erzeugte Polarität durch einen entgegengesetzten Impuls umgekehrt wurde. Auch bei ihnen liefs sich keine constante Verschiedenheit nachweisen.

Von einigen Stäben, z. B. No. 13, 14, 15 bei 50 Millim. Länge, No. 13, 14 bei 79 Millim. Länge sind in den Tabellen mehrere Beobachtungen angeführt, bei denen die Kräfte, deren Abnahme man beobachtete, sich nur sehr wenig unterscheiden. Es waren Stäbe, welche durch einen oder mehrere Impulse gewisser Art dem dadurch erreichbaren Maximum schon nahe gebracht waren, und daher durch einen neuen Impuls nur wenig verstärkt wurden. Ehe jedoch diese neuen Impulse vorgenommen wurden, waren ihre Decremente einige Stunden hindurch beobachtet; dann wiederum, nachdem sie von neuem einen oder mehrere Impulse empfangen hatten und so öfter. Da nun ein magnetisirter Stab, schon nach einer Stunde, nachdem er etwa

$\frac{1}{30}$ seiner Kraft verloren hatte, einen fast constanten Zustand annimmt: so sollte man erwarten, dafs der Magnetismus nunmehr so fest haften müfste, dafs, wenn er durch Anlegen an einen Magneten auch etwas verstärkt wird, das Decrement allenfalls nur den geringen Gewinn treffen könnte, den es durch den neuen Impuls erlangt haben mochte, aber keineswegs die ganze schon seit mehren Stunden in ihm befestigte magnetische Kraft. Aber so ist es nicht. Der Stab hat jetzt ein Decrement, das dem frühern nicht nachsteht, und sein Magnetismus zeigt keine höhere Festigkeit als bei der ersten Magnetisirung.

Man könnte glauben, dafs durch den neuen Impuls, so gering auch seine endliche Wirkung seyn mochte, der gesammte magnetische Zustand des Stabes aufgeregt und erneuert wurde. Es würde dann auch die seltsame Erscheinung erklärt seyn, dafs ein durch wiederholte Impulse zu seinem relativen Maximum gelangter Stab durch einen neuen Impuls, statt verstärkt zu werden, gar nicht selten geschwächt wird.

Die Stäbe, deren Decremente in den Tabellen mitgetheilt sind, waren alle so magnetisirt, dafs der Indifferenzpunkt fast genau in der Mitte lag, indem die kleineren Stäbe symmetrisch an die Lamelle gelegt waren und die Stäbe von 150 Millim. entweder durch galvanische Spiralen oder auf gewöhnliche Weise durch Streichen an einem kräftigen Magneten magnetisirt waren. Um das Verhalten von Stäben, in denen der Magnetismus sehr ungleich vertheilt war, kennen zu lernen, wurden einige 200 oder 250 Millim. lange Stäbe von derselben Stahlart und Dicke wie die kleinern mit einem Ende an den Nord-Arm des Magneten in dessen Verlängerung gelegt, nachher mit dem andern Ende eben so an den Süd-Arm. Wurde dieses öfter wiederholt, so gelangt der Stab zu einem constanten Maximum, mit dem Indifferenzpunkt in der Mitte. Aber anfangs war er ungleichförmig magnetisirt.

		Nach 1 Tage	Decrement
Mit einem Ende	3,73	3,46	0,072;
mit dem andern Ende	1,97	1,83	071;
Mittel-Werth	2,85	2,64	072.

Ein 250 Millim. langer Stab gab unter ähnlichen Umständen

		Nach 2½ Stunden	Decremente
mit einem Ende	6,18	5,24	0,152;
mit dem andern Ende	2,50	2,13	148;
Mittel-Werth	4,34	3,68	150.

Die Kräfte, je nachdem man das dem Indifferenzpunkte nähere oder fernere Ende dem Spiegel darbot, verhielten sich wie 1,9 im ersten und 2,5 im zweiten Versuche. Man hätte glauben können, daſs die stärkern einen verhältniſsmäſsig gröſsern Verlust hätten erleiden und der Magnetismus sich einer normalen Vertheilung hätte nähern müssen. Aber dieses war der Fall nicht; die Decremente waren dieselben.

Die ungewöhnliche Gröſse der Decremente, welche in dem ersten Beispiele das vierfache, in dem zweiten das sieben- bis achtfache der normalen ist, hat sich in allen Versuchen, die in dieser Weise angestellt wurden, bestätigt. Sie rührt vermuthlich von der Ausbreitung der magnetischen Spannung von den unmittelbar erregten Enden nach der Mitte hin her, wodurch natürlich die Gesammtheit der magnetischen Theile sich von dem Spiegel etwas entfernen und deshalb schwächer wirken muſste. Auch diese Thätigkeit ist also der Kraft proportional.

Die Veränderung der Capacität für Magnetismus.

Daſs die Temperatur, daſs Biegung und dergleichen das magnetische Moment, welches ein Stahlstück annehmen kann, verändern, ist bekannt. Aber diese Fähigkeit kann auch ohne Temperatur und Cohäsions-Einflüsse verändert werden.

Die Tabellen enthalten mehrere Beispiele von Stäben, welche die gesammte magnetische Kraft, die sie durch die

rasche Wiederholung eines Impulses gewisser Art erreichen konnten, bereits besafsen, und dennoch nach einiger Zeit durch einen neuen Impuls eine höhere Intensität erlangten als es ihnen früher möglich war. Dieses konnte sogar mit demselben Stabe mehrmals wiederholt werden. Der Stab hatte also einige Zeit nach seiner ersten Magnetisirung die Fähigkeit erlangt einen stärkern Magnetismus anzunehmen als früher. Seine Capacität für Magnetismus war also gröfser geworden, und die Verluste, welche der Stab durch die Zeit und durch Erschütterungen erfahren hatte, wurden durch einen einzigen Impuls mehr als ersetzt.

Ein Stab No. 9 von 50 Millim. Länge, *blau angelassen*, hatte durch wiederholtes Anlegen an die Lamelle ein Maximum erlangt, das ich = 1 setzen will. Nach 24 Stunden war die Kraft um 0,022 gesunken. An die Lamelle gelegt wurde ein Maximum von 1,034 erlangt und so einige Tage hindurch fortgefahren. Es ergaben sich an den auf einander folgenden Tagen die Werthe:

1,000 1,034 1,046 1,062 1,088 1,092 . . . 1135

der letzte Werth ist 5 Tage nach dem vorletzten gefunden.

No. 13 von 50 Millim. Länge, *hart*, ganz ebenso behandelt, und jeden Tag so oft angelegt, bis ein Maximum eintrat, was jedoch hier, wie bei den übrigen betrachteten Stäben in der Regel schon nach dem ersten Anlegen bis auf eine verschwindende Gröfse geschah, gab die Verhältnisse der Zunahme der Capacität:

1,000 1,090 1,149 1,158 1,166 1,180 . . . . 1,186.

In No. 10 von 79 Millim. Länge, *blau angelassen*, stieg die Capacität für Magnetismus in 22 Tagen auf 1,341 der anfänglichen.

Stab No. 7 von 79 Millim. Länge, *blau angelassen*, hatte durch Anlegen an die Lamelle ein Maximum = 1,000 erlangt. Nach 13 Minuten wiederum angelegt, hatte er das Maximum von 1,083. Das Anlegen nach 30 Stunden wiederholt = 1,115.

Stab No. 13 von 79 Millim. Länge, *blau angelassen*, hatte an auf einander folgenden Tagen die Maxima:

1,000 1,082 1,106 1,144 1,157 1,182 1,202 (*) 1,210 1,218
Zwischen den durch (*) getrennten Angaben waren drei Tage verflossen.

Stab No. 14 von 79 Millim., *blau angelaufen*, gab die Maxima nach Intervallen von 24 Stunden:

1,000 1,053 1,093 1,137 1,147 1,148 1,165 1,180 1,209

Stab No. 9 von 79 Millim. Länge, *glashart*, Maximum 1,000, stieg nach 24 Stunden durch *einen* Impuls, der durch Wiederholung verstärkt wurde, auf 1,037. Zwei andere Impulse, 1 und 2 Tage später, ergaben 1,115 und 1,124.

Stab No. 4 von 100 Millim. Länge, *weich*, hatte das Maximum = 1,000, nach 24 Stunden dagegen 1,031.

Diese Angaben sind zwar quantitativ sehr verschieden, bestätigen aber die Zunahme der Capacität für Magnetismus und zwar in einer Weise, welche den Einfluſs der Härte und der Dimension in sehr enge Gränzen verweist, wenn er überhaupt vorhanden ist.

Es ist nicht zu übersehen, daſs die Beobachtungen an zehn und mehr auf einander folgenden Tagen zwar für eine Abnahme in dem Gange der Differenzen zu sprechen scheinen, sich aber trotz ihrer Anzahl einem Maximum nur sehr langsam nähern.

Im magnetischen Stahlstabe geht also eine doppelte Veränderung vor. Der vorhandene Magnetismus wird schwächer, aber wenn Erschütterungen vermieden werden, nur um $\frac{1}{50}$ bis $\frac{1}{60}$ des Ganzen; aber zugleich wird der zurückbleibende Magnetismus fester, so daſs er einer neuen Erregung einen geringeren Widerstand leistet.

In allen diesen Fällen ist jedoch nicht die Sättigung beobachtet, die man durch einen starken Magneten hervorbringen kann, sondern nur die relative, welche durch die Wiederholung einer gewissen Art von Impulsen erreicht werden kann, und es ist wahrscheinlich, daſs absolut gesättigte Stäbe sich anders verhalten. Versuche sind jedoch, wegen der Erschütterung, die sehr starke Magnete beim Anlegen und Abreiſsen in den Stahlstäben hervorbringen, bis jetzt nicht gemacht worden.

Dafs übrigens stark gesättigte Stäbe ähnlicher Veränderungen fähig sind, geht aus den Erfahrungen mit Stahlmagneten hervor, deren Tragkraft und also auch das magnetische Moment zunimmt, so lange der Anker vorliegt, was sich aber, wenn der Anker abgerissen wird, gröfstentheils wieder verliert. Indessen sind genaue Beobachtungen auch über diese Erscheinung noch nicht angestellt worden. Es steht auch nicht fest, dafs diese Magnete in der That vollkommen gesättigt waren.

Ueber die Wirkung der Anker.

Ein magnetisirter Stahlstab, der in den vorhergehenden Versuchen angewendet war, wurde vor den Stahl-Spiegel so gelegt, dafs sein Mittelpunkt etwa 300 Millim. davon entfernt war und seine Längen-Axe und das Centrum des Spiegels in eine gerade, auf den magnetischen Meridian perpendiculäre Linie fielen. In die Verlängerung des Stabes und in Berührung mit ihm kam ein weicher Eisenstab zu liegen. Wenn der Anker zwischen Magnetstab und Spiegel lag, so wurde er durch die Wirkung des Stabes selbst vorübergehend zu einem Magneten und lenkte den Spiegel weit stärker ab, als der entferntere Magnet es für sich allein vermocht hätte.

In den folgenden Versuchen hatte jedoch der Anker die entgegengesetzte Stellung, an dem dem Spiegel abgewendeten Ende des Stabes, der, wenn auch der Anker gewechselt wurde, in seiner Lage keine Veränderung erlitt. Ich hoffte, dafs die Wechselwirkung von Anker und Magnet diesen so langsam verändern würde, dafs das Gesetz der Veränderung sich in einer Function der Zeit würde bestimmen lassen. Sie war jedoch hier nicht schneller, als wenn der Magnetstab allein vor dem Spiegel lag. Aber die Intensität der Wirkung veränderte sich je nach der Beschaffenheit der Anker in einer Weise, die kurz mitgetheilt werden mag, obgleich die Untersuchung noch nicht beendigt ist.

Die Anker hatten verschiedene Dimensionen:

a) Rechtwinklige Stäbe 47½ Millim. lang, 20 und 10 Millim. breit und dick.
b) Rechtwinklige Stäbe 195 Millim. lang, 30 und 10 Millim. breit und dick.
c) Cylindrische Stäbe 190 Millim. lang, 30 und 10 Millim. Durchmesser.

Es wurde bald ein Anker, bald wurden ihrer zwei oder drei angelegt. Die magnetische Intensität der angewendeten Stahlstäbe, wenn sie ohne Anker, aber in derselben Entfernung lagen, oder wie früher auf 100 Millim. Entfernung vom Mittelpunkt des Stabes bis zum Spiegel reducirt, war

bei einem Stabe von	50 Millim. Länge	No. 9 bl. ang.	49,4
do.	do.	No. 3 bl. ang.	75,5
do.	do.	No. 4 bl. ang.	71,0
do.	do.	No. 14 glashart	65,9
do.	79 Millim. Länge	No. 14 bl. ang.	103,0
do.	200	No. 1 bl. ang.	68,8.

Die Zahlen in den folgenden Angaben sind die von der Combination des Magnets und Ankers entwickelte Kraft, die des Stabes, wenn er allein war, = 1 gesetzt.

50 Millim. lange Stäbe.

No. 9	mit *b*	= 2,77	No. 14	mit *a*	= 2,02
	mit *a* und *b*	= 2,88		mit *a* und *a*	= 2,45
No. 3	mit *c*	= 2,73		mit *b*	= 2,77
	mit *a* und *c*	= 2,88		mit *c*	= 2,79
	mit *c* und *c*	= 2,88		mit *a* und *c*	= 2,94
	mit *c*, *c* und *a*	= 2,91		mit *a*, *a* u. *c*	= 3,05
No. 4	mit *b*	= 2,76		mit *c* und *c*	= 3,14
	mit *c*	= 2,75.			

Der 79 Millim. lange Stab gab mit Anker *a* = 1,53.
Der 200 Millim. lange Stab gab mit Anker *a* = 1,35
b = 2,11
c = 1,80.

So unvollständig diese Beobachtungen auch sind, so ergiebt sich daraus, dafs die Kraft der Magnetstäbe durch die Anker beträchtlich verstärkt wird; dafs die Wirkung mit der Verlängerung und Vermehrung der Anker steigt,

dafs aber der Einflufs der Länge sich einem Maximum nähert, welches bei dem kürzesten Stabe mehr als das dreifache der Kraft beträgt, welche der Stab für sich allein besitzt.

Die *Härte* und der *Grad* der *Sättigung* üben keinen merklichen Einflufs aus.

Der Einflufs der Dimensionen zeigt sich in der beträchtlich geringern Wirkung der längeren Stäbe. Der Stab von 200 Millim. Länge ist wegen der Unsymmetrie der magnetischen Vertheilung in ihm weniger zu berücksichtigen. Aber die Wirkung des Ankers auf den Stab von 79 Millim. Länge, welche nur 1,53 beträgt, während die entsprechende des Stabes von 50 Millim. = 2,02 ist, zeigt deutlich den Einflufs der Länge.

Wurde der Anker entfernt, so hatten alle Stäbe, wenn die Berührung nicht über einige Minuten gedauert hatte, fast genau den frühern Zustand wieder erlangt. Bei längerem Anliegen schien eine geringe Verstärkung eingetreten zu seyn, die sich auch schon während des Liegens nachweisen liefs. Jedoch sind die Versuche darüber noch nicht entscheidend.

Die Ursache dieser grofsen Vermehrung des magnetischen Momentes liegt unstreitig nicht in der Vermehrung der freien magnetischen Kraft selbst, sondern nur in ihrer Vertheilung. Durch das Vorlegen von Ankern kann das Grundgesetz des Magnetismus, nämlich die Gleichheit der magnetischen Nord- und Südkräfte, nicht verändert werden. Aber auch jede dieser Kräfte für sich genommen wird nicht verändert. Wenn z. B. der Anker an das Südende des Magnets gelegt wird, so wird der Nord-Magnetismus an der Berührungsstelle theilweis gebunden und der freie Süd-Magnetismus von dem dem Spiegel zugekehrten Nordende entfernt. Das System von Anker und Magnet, obgleich mit derselben magnetischen Kraft begabt, hat also einen grofsen Theil seines freien Magnetismus in gröfserer Entfernung vom Spiegel als der Stab allein und wirkt daher stärker mit seinem Nordende.

Es ist daher auffallend, obgleich nicht im Widerspruch damit, dafs ein Magnetstab, dem an einem Ende ein Anker vorliegt, mit dem andern Ende einen Anker anfangs weit weniger stark anzieht, bis er nach einiger Zeit, besonders nach einiger Erschütterung, wieder seine normale Vertheilung angenommen hat. Ueberhaupt haben mehrere seltsame Erscheinungen an den Ankern der Stahl- und Elektromagnete ihre Erklärung bisher noch nicht gefunden.

Magnetismus und Cohäsion.

In einem kräftigen Elektromagneten nimmt man beim Oeffnen und Schliefsen der Spirale Erschütterungen wahr, die man fühlen und hören kann. Unter minder günstigen Umständen ist dieses zwar der Fall nicht. Man kann aber nicht füglich bezweifeln, dafs die Ursache, aus welcher diese stärkeren Erschütterungen hervorgehen, sich auch bei schwächern magnetischen Processen finden werden, wenn sie auch für unsere Hülfsmittel nicht wahrnehmbar sind und dafs überhaupt zwischen den Veränderungen der Polarität, oder wie wir sagen können, der Bewegung der *magnetischen* Theile und derjenigen der *materiellen* Theile ein naher Zusammenhang stattfindet. Dieses wird auch noch durch andere Beziehungen von Magnetismus und Cohäsion bestätigt.

Alle Eigenschaften des Eisens, welche der Bewegung der materiellen Theile förderlich sind, sind es auch der Ausbildung der Polarität. Die kleinen, der Masse nach unbedeutenden Beimengungen, welche dem Eisen, wie den anderen Metallen die Beweglichkeit nehmen, wirken in gleicher Weise hemmend auf die Veränderungen der magnetischen Polarität. Die Coërcitiv-Kraft ist im Wesentlichen an dieselben Bedingungen gebunden, wie die Härte und die Festigkeit. Man mufs jedoch, wenn man nicht durch widersprechende Beobachtungen getäuscht seyn will, berücksichtigen, dafs ein Körper in der einen Richtung hart oder spröde, in der andern ganz wohl weich seyn kann.

Was die Beweglichkeit der materiellen Theile erhöht, erhöht auch die der magnetischen. Abkühlung und Erwär-

nung wirken auf beide in gleicher Weise. Durch Erschütterungen wird der dem Magneten anliegende Stahlstab stärker magnetisch, und vom Magneten entfernt verliert er einen Theil seines Magnetismus leichter. In beiden Fällen wird ganz wie bei mechanischen Kräften das Eintreten der ihnen entsprechenden Bewegungen und also die Herstellung des stabilen Gleichgewichts durch die Erschütterung erleichtert.

Zu diesen Analogieen tritt noch die *moleculare Bewegung*, eine zwar nur selten wissenschaftlich beobachtete, aber dennoch sehr verbreitete Erscheinung der festen Körper. Denn Krystalle und vielleicht Krystall-Aggregate ausgenommen, ist keiner dieser Körper in einem vollständig stabilen Zustande. Ein stabiler Zustand ist nur da möglich, wo nicht nur der Körper als Ganzes gegen fremde Kräfte im Gleichgewicht ist, sondern auch jeder seiner Theile es für sich ist, wo z. B. ein aus der Masse gelöster Würfel seine Gestalt nicht verändern würde. Aber in diesem normalen Zustande befinden sich nur sehr wenige Körper. Bei den Glas- und Stahlstücken, die zerbrochen werden, passen die Fragmente niemals vollkommen auf einander und wo es, wie beim Glase, optische Mittel giebt, das Daseyn eines gespannten Zustandes zu entdecken, ist dieser nur sehr selten vergeblich gesucht worden.

Die aus dem Streben nach diesem Gleichgewichte hervorgehenden Bewegungen sind zwar in der Regel sehr klein, weil die Kräfte, die hier thätig sind, in sehr mannigfaltigen Richtungen auseinandergehen; und zuweilen läfst sich die Wirkung nur nach langen Zeiträumen, oder durch Vermittelung einer höheren Temperatur wahrnehmen. Aber was in einem Jahrzehnt deutlich wird, mufs schon in einer Minute eine gewisse Wirkung hervorbringen.

Am raschesten tritt diese moleculare Bewegung der materiellen Theile in Fäden oder Drähten auf. Durch irgend eine Kraft, die nur kein Zerreifsen hervorbringen darf, gedehnt, gebogen oder gedreht nehmen sie, wenn sie dieser nur ein Moment ausgesetzt waren, ihren frühern Zustand fast

vollständig wieder an. Dauert jedoch diese Spannung länger, so wird ein Theil der durch die fremde Kraft hervorgebrachten Veränderung bleibend; sie wird sogleich durch eine neue, ihr entsprechende Spannung ersetzt, und dieser Procefs schreitet so lange vor, bis der Draht entweder zerrissen ist, oder einen härtern, den Veränderungen besser widerstehenden Zustand angenommen hat.

Wird die fremde Kraft entfernt, so geht die von ihr abhängige und ihr gewöhnlich fast proportionale Drehung sogleich verloren. Dann aber setzt der Draht langsam die Veränderung in derselben Richtung fort und nähert sich dadurch seinem frühern Zustande.

Die Körper nehmen also fremden Kräften gegenüber zwei Arten von Bewegungen an, die, obgleich auf denselben Cohäsions-Kräften beruhend, dennoch in sehr ungleicher Weise auftreten. Die *eine* Art, welche auf der *Elasticität* beruht, geht aus dem Streben hervor, sich mit den äufseren Kräften in Gleichgewicht zu setzen, und besteht, da alle partielle Spannungen im Körper, auch ohne parallel zu seyn, sich zu einer Totalrichtung summiren, in einer starken, die Gleichgewichtslage schnell erreichenden und dieselbe oft überschreitenden Bewegung.

Bei den Bewegungen *zweiter* Art sucht jeder Theil des Körpers für sich in Gleichgewicht zu kommen. Jene Gemeinsamkeit des Zieles findet nicht statt, die Resultante sämmtlicher hierzu gehörigen partiellen Spannungen ist daher klein und die Geschwindigkeit fast ohne Ausnahme sehr gering im Verhältnifs zu derjenigen, welche aus der Elasticität hervorgehen. Diese zweite Art umfafst die eigentlichen *molecularen* Bewegungen.

Aber ganz dieselben Erscheinungen, welche hier unter dem Einflufs der mechanischen Kräfte auftreten, werden im Gebiete des Magnetismus durch magnetische Kräfte hervorgebracht. Wie bei der Elasticität, so lange die Wirkung nicht bleibend ist, ist auch bei dem Magnetismus der veränderliche Theil der Polarität fast momentan, sowohl in

seinem Entstehen als Verschwinden. Das weiche Eisen, welches an einen Magneten oder in eine Spirale gebracht wird, der Magnetstab, dem ein Anker anliegt (oben S. 87), beide erlangen ihre volle magnetische Kraft in einem bis jetzt noch nicht gemessenen Zeitraum und verlieren sie eben so schnell wieder, wenn der erregende Körper entfernt wird.

Zu dieser schnellen, an die Elasticität erinnernden Thätigkeit gesellt sich nun die zweite, sehr langsame, welche der molecularen analog ist. Der einem Magneten anliegende Stahlstab nimmt je nach der Dauer dieser Anlage an Intensität zu, und der von der Spirale oder dem Magneten abgenommene Stab verliert allmählich einen Theil seiner Kraft. Aber diese Veränderungen sind sehr träge und im Vergleich zu der ersten auch nur schwach. Wenn man annimmt, dafs die Veränderung der magnetischen Polarität blofs in der Drehung von Theilchen bestehe, in denen die Pole eine feste Lage haben, so beruhen diese magnetischen Veränderungen auf einer wahren Molecular-Bewegung.

Die Analogie ist jedoch in zwei Punkten nicht vollständig, nämlich in der *Intensität*, mit welcher in einem Magnetstab, während seines Verweilens an einem Magneten oder einer Spirale, eine bleibende magnetische Veränderung hervorgebracht wird, und in der *Schnelligkeit* mit der dieses geschieht. Ein Moment reicht hin, dem Stabe $\frac{4}{5}$ der ganzen magnetischen Kraft zu geben, die er überhaupt durch wiederholtes Anlegen erlangen kann. Bei mechanischen Kräften findet nichts ähnliches statt, die Veränderungen sind bei momentaner Wirkung in der Regel fast Null und auch bei einer länger dauernden Wirkung weit kleiner und von der Dauer der Einwirkung der fremden Kraft abhängig.

Eine solche in einem Moment entstandene und dennoch andauernde Wirkung in dem Gebiete des Magnetismus ist blofs bei der *Induction* bekannt. Diese ist zwar bis jetzt nur da beobachtet, wo ein Leiter anwesend ist, in welchem ein elektrischer Strom entweder schon entstanden ist, oder

noch entstehen kann, und die bekannten Gesetze der Induction, auch wenn man von der Ansicht ausgeht, dafs der Magnetismus in der Rotation eines elektrischen Fluidums bestehe, reichen nicht hin um dadurch die Entstehung der magnetischen Polaritäten durch Magnete zu erklären. Indessen hat nach der Analogie zwischen elektrischen Strömen und der magnetischen Polarität eine solche Wirkung auch da nichts unwahrscheinliches, wo zwei Magnete oder ein Magnet und ein Eisen- oder Stahlstab in Wechselwirkung treten.

Nehmen wir nun vorläufig an, dafs es bei der Annäherung eines Stahlstabes an einen Magneten oder eine Spirale ein der Induction ähnlicher Procefs sey, welcher die Polarität im Stabe hervorbringt: so würde bei der Entfernung des Stabes vom Magneten oder der Spirale eine entgegengesetzte Polarität eintreten müssen. Diese würde in einem Stabe, in welchem die Theilchen keine bestimmte Lage angenommen haben, eben so grofs seyn, wie die erste Polarität. Aber der Stab hat sich beträchtlich verändert, die magnetischen Theilchen liegen nicht mehr indifferent nach allen Richtungen hin, sie haben sich der polaren Lage, welche der Magnet inducirt hat, mehr oder weniger zugedreht und die neue Induction kann sie daher nicht wieder in die frühere Lage zurückbringen, so dafs nach der Entfernung vom Magnet die zuerst erregte Polarität theilweise erhalten bleibt.

Es erklärt sich nach dieser Annahme leicht, dafs ein so magnetisirter Stab durch eine entgegengesetzte Polarisation niemals so stark wird, wie durch die erste, ja sogar, dafs man bei öfterem Wechsel beider entgegengesetzten Magnetisirungen zwar die Pole verwechselt, aber nach der zweiten oder vierten Magnetisation die Polarität niemals so kräftig machen kann, wie nach der ersten, dritten oder fünften.

Es lassen sich auf diese Weise noch andere Erscheinungen, sowohl beim Stahl- als beim Elektromagneten aus weichem Eisen erklären, z. B. die Decremente bei neu angelegten Stäben (oben S. 81) und mehrerer Anomalien in der Thätigkeit der Anker. Ich behalte mir dieses auf eine

Zeit vor, wo ich eine Fortsetzung des experimentellen Theiles dieser Arbeit werde liefern können. Manches bleibt allerdings noch dunkel. Man würde vieles anscheinend leichter erklären können, wenn man die Polarität eines Stahl- oder Eisenstabes nicht blofs auf die Lage der elementaren Magnete, aus denen sie bestehen sollen, zurückführt, sondern auch noch eine Verschiedenheit in der Intensität dieser Theilchen annehmen wollte. Man würde jedoch eines scheinbaren Gewinnes wegen den Hauptvorzug der Hypothese, ihre Einfachheit, aufopfern.

Man kann sich demnach den Magnetisations-Procefs des Stahls durch einen Magneten oder eine Spirale folgendermafsen vorstellen:

Bei dem Anlegen des Stabes an den Magneten findet eine kräftige Induction statt, welche die Theilchen, so weit es ihre Verbindung mit den übrigen (ihr Coërcitiv-Vermögen) erlaubt, so wendet, dafs ihre Axen von nun an einen kleineren Winkel mit der Kraftlinie des Magneten machen, wie früher. Die Induction selbst hört, so wie der Stab in Ruhe ist zwar auf, aber ein Theil seiner Wirkung dauert, so lange der Stab seine Lage behält unverändert fort. Die magnetische Polarität wird sogar durch die moleculare Bewegung der magnetischen Theile noch um ein Geringes verstärkt. Wird der Stahlstab nun abgenommen, so tritt eine neue Induction in entgegengesetzter Richtung ein, welche die frühere Wirkung wohl vermindern aber nicht ganz aufheben kann, und auch dieses setzt sich nachher eine Zeitlang in einer molecularen Bewegung der magnetischen Theile, aber mit geringer Intensität fort.

Zum Schlufs will ich noch an den gewichtigen Umstand erinnern, dafs zwischen den materiellen Theilen, deren Drehung die Ursache aller magnetischen Erscheinungen ist, also zwischen den elementaren Magneten und den molecularen Krystallen gar keine Verbindung nachzuweisen ist. Das Eisen und der Magnet-Eisenstein krystallisiren tesseral, jener mit würfliger, dieser mit octaëdrischer Grundform; der Magnetkies ist hexagonal, alle drei ohne das geringste

Zeichen einer Hemiëdrie, welche man als die Ursache der magnetischen Polarität ansehen könnte. Unter den paramagnetischen Stoffen gibt es auch flüssige und gasförmige. Aber solche Räthsel findet man überall, wo man an das Gebiet der Molecüle herantritt.

IV. *Ueber den Agat; von E. Reusch.*

Der Agat gehört, nach den Krystallen, sicher zu den reizendsten Gebilden des Mineralreichs. Seit unvordenklicher Zeit bekannt und geschätzt, in grofsen Quantitäten noch heute verarbeitet und in allen Sammlungen durch die mannigfaltigsten Prachtstücke vertreten, hat dieses Mineral die Aufmerksamkeit der Physiker und Geologen doch nicht in dem Grade auf sich zu lenken vermocht, wie es die Schönheit der Objecte und die Eigenthümlichkeit der optischen Eigenschaften vielleicht verdiente. Als Sir D. Brewster [1]), bald nach Entdeckung der Polarisation des Lichts, am durchsichtigen Agate schöne Farbenerscheinungen und namentlich polarisirende Eigenschaften von grofser Eigenthümlichkeit fand, schien ihm dieser merkwürdige Körper dazu bestimmt, uns in die eigentlichen Mysterien der physikalischen Optik einzuführen. Einen Theil des Zaubers hat nun Brewster viel später dadurch gelöst, dafs er, auf Fraunhofer's Entdeckungen fufsend, nachwies, dafs wenigstens die Farben des irisirenden Agats ihren Grund haben in einer aufserordentlichen Feinheit der Streifen oder Adern [2]); auf die sonstigen, allen Agaten wesentlich zukommenden optischen Eigenschaften ist aber meines Wissens Brewster nicht zurückgekommen. Einen erheblichen Fortschritt im Verständnifs der aus amorpher Kieselerde bestehenden Mineralien, welche eine Schichtung zeigen,

1) *Philosoph. Transact.* 1813 und 1814.

2) Diese Ann. Bd. LXI, S. 134—138; 1844.

verdanken wir Max Schultze, welcher in seiner Untersuchung über die Structur der Diatomeenschale[1]) eine auf diese Schichtung zurückführbare Doppelbrechung dieser Stoffe, sowohl an Schliffen derselben als an künstlichen Präparaten von analoger Structur, nachgewiesen hat. Ich bin durch Hrn. Prof. Valentin auf diese werthvolle Arbeit aufmerksam gemacht worden. Diese von inneren Spannungen herrührende Doppelbrechung in Verbindung mit dem Umstand, dafs diese Mineralien eine zu der Schichtung senkrechte Durchsplitterung zeigen, führt, wie ich im Folgenden nachzuweisen suchen werde, zu einer genügenden Einsicht in das optische Verhalten der Agate.

Während meines längeren Umgangs mit dem Agat hat sich mir die Frage nach der Entstehungsweise dieses Minerals so unwillkührlich dargeboten, dafs ich versucht habe, sie zu lösen. Die durch unmittelbare Anschauung hierüber gewonnene Ansicht habe ich später, nachdem mir durch College Quenstedt die einschlägige Literatur, namentlich Nöggerath's Sendschreiben an W. Haidinger »Ueber die Achatmandeln in den Melaphyren«[2]) bekannt geworden war, weiter auszubilden gesucht und werde mir erlauben, dieselbe nach Besprechung der optischen Eigenschaften des Agats auseinanderzusetzen. Das Material zu meinen Untersuchungen verdanke ich theils verschiedenen Freunden, theils der hiesigen Mineraliensammlung, namentlich aber der Liberalität des Hrn. August Veek in Idar, der mir auf ein Schreiben an Hrn. Oberförster Tischbein eine beträchtliche Anzahl sehr charakteristischer brasilianischer und obersteiner Agats zur Verfügung stellte. Die Präparate habe ich zum gröfsern Theil aus passenden Splittern, die sich beim Zerschlagen ergaben, vielfach aber auch mit nicht geringer Mühe aus dickeren Schlagstücken selbst geschliffen.

1) Verhandlungen des naturhist. Vereins d. pr. Rheinlande. Jahrgang XX, S. 14

2) Aus den naturw. Abhandlungen, gesammelt und herausgegeben von W. Haidinger. III. Band erste Abth. S. 93.

Die optischen Eigenschaften des Agats.

§. 1.

Die Agate, von welchen zunächst die Rede seyn wird, gehören zu der, wie es scheint, sehr häufig vorkommenden Varietät des gestreiften Chalcedons, welche ein bläuliches Licht reflectirt, ein gelbliches opalisirendes Licht durchläfst, und in dünnen senkrecht zu den Schalen geschnittenen Platten oft einen hohen Grad von Durchsichtigkeit zeigt. Die Schalen regelmäfsig gebildeter Agate können im Allgemeinen als ein System äquidistanter Flächen angesehen werden, wobei sehr häufig die aufeinanderfolgenden Schichten sich durch regelmäfsigen Wechsel im Grade der Färbung und Durchsichtigkeit unterscheiden. Die Dicke der einzelnen Schichten ist an demselben Stücke und von Stück zu Stück sehr veränderlich und scheint von 1^{mm} und mehr bis zu der äufsersten Feinheit herab wechseln zu können. Die Messungen Brewster's an irisirenden Agaten führen auf Dicken von $0{,}00046$ bis $0{,}0015^{mm}$. Die Leichtigkeit, mit der die Schichten als gesonderte Züge erkannt werden, ist bedingt theils durch den erwähnten Farbenwechsel, theils durch physikalische Verschiedenheit der angränzenden Schichten, vermöge deren insbesondere das Brechungsvermögen sich sprungweise zu ändern scheint. Wo diese Kennzeichen fehlen oder wenig entwickelt sind, hat man oft Mühe sich vom Vorhandenseyn der Schichtung zu überzeugen. Die physikalischen Verschiedenheiten benachbarter Schichten anlangend, so sieht man häufig auf einem rohen Bruch Linienzüge, die sich durch ein höheres Reflexionsvermögen vor den benachbarten matteren Streifen auszeichnen; beide entsprechen der Schichtung. An einem Stück brasilianischen Agats, dessen Schichtung schwer zu erkennen war, habe ich auf einem zu den Schalen senkrechten Schliffe vor dem Poliren auf der fein matten Fläche Beugungsspectra beobachtet, deren Messung auf eine Dicke der Schalen von $1{,}13^{mm}$ führte; die Spectren waren auf der polirten Fläche nicht mehr sichtbar und rührten sicher von einem Wechsel härterer und weicherer Schichten her, deren Un-

gleichheit durch den Act des Polirens verwischt war. Manchmal sieht man die Trennungsfläche zweier Schichten als einen glänzenden sprungartigen Zug, was entweder mit Absonderung parallel den Schalen oder mit einer erheblichen Differenz im Brechungsvermögen zusammenhängt, und wahrscheinlich verdankt der irisirende Agat seine Schönheit dem Umstande, dafs hier eine stark entwickelte tangentielle Absonderung oder ein regelmäfsig wiederkehrender Wechsel des Brechungsvermögens zusammentrifft mit sehr kleiner und sehr constanter Dicke der Schalen.

Die Durchsichtigkeit einer Agatplatte hängt wesentlich ab von der Orientirung der angeschliffenen Flächen.

Radialschliffe, d. h. planparallele Platten, deren polirte Flächen zu den Schalen senkrecht stehen, zeigen den gröstmöglichen Grad von Durchsichtigkeit, dagegen sind *Tangentialschliffe*, deren Flächen mit den Schalen möglichst zusammenfallen, selbst bei ganz farblosen Stücken, *allezeit matt und trüb*. Durch eine Platte brasilianischen Agats von 0,4^{mm} Dicke, welche dicht ans Auge gehalten wurde, konnte ich bei normaler Incidenz die Sprossen eines hellbeleuchteten Fensters nicht erkennen; eine gleich dicke Platte des viel feiner organisirten obersteiner Agats zeigte die Umrisse des Fensters schon ziemlich deutlich. Neigt man die Platte gegen das einfallende Licht, so tritt beim brasilianischen Agat einige, beim obersteiner eine sehr merkliche Klärung der Umrisse ein. Unter dem Mikroskope macht ein solcher Tangentialschliff den Effect von Papier, dessen Filz man durch eine schwache Lupe betrachtet. Im polarisirenden Mikroskop tritt in jedem Azimuth der Platte Aufhellung des Sehfeldes und somit Depolarisation ein.

Bemerkenswerth ist noch eine traubige, wolkige Absonderung, ohngefähr in der Richtung der Schalen verlaufend, die besonders an dickeren Tangentialschliffen oft schon mit blofsem Auge erkannt wird. Diese Absonderung ist wohl dieselbe, die man oft an der äufseren Fläche von Agatmandeln als narbige Stellen in meist verwittertem Zustande findet. In Verbindung mit einer zweiten die Schalen senk-

recht durchbrechenden Absonderung, von der sogleich die Rede seyn wird, bildet diese tangentielle traubige Absonderung die Angriffspunkte für eine ins Innere fortschreitende Verwitterung des Agats.

§. 2.

Von besonderer Wichtigkeit für das Verständnifs des Agats ist eine zu den Schalen senkrechte oder kürzer *radiale Durchsplitterung* der ganzen Masse. Mit ihr hängen manche Eigenthümlichkeiten des Agats zusammen: einmal spaltet und schleift sich derselbe in radialer Richtung leichter als in jeder anderen; dann hängt mit dieser Absonderung das Opalisiren zusammen, denn ohne Zweifel ist, wie bei allem Opalisiren, der bläuliche Farbton im reflectirten, und der gelbliche im durchgelassenen Licht, eine Mischung von Farben dünner Blättchen, welche wohl der ersten Ordnung angehören. Bei den brasilianischen Agaten scheint diese Splitterung nambaft gröber als bei denen von Oberstein, sie ist nicht an die Dicke der einzelnen Schalen gebunden, und man kann eine Absonderungsfläche oft durch viele Schichten verfolgen und dabei sehen, wie ihre Richtung von der radialen mehr oder weniger abweicht, wie sie sich krümmt und in der Weise eines Sprunges verläuft. In Verbindung mit dem fast immer vorhandenen Farbenwechsel der Schalen bewirkt diese Absonderung im durchgelassenen Lichte das eigenthümliche schwer zu beschreibende wellige oder gestrickte Aussehen vieler Agate, das Brewster in den *Philos. Trans.* 1814 Tab. V abzubilden versucht hat Unter dem Mikroskope, welches immer nur die gerade in richtiger Einstellung befindlichen Absonderungen deutlich zeigt, verschwindet diese schöne Erscheinung ganz, während bei Betrachtung mit blofsem Auge oder einer schwachen Lupe gleichzeitig eine gröfsere Anzahl hinter einander in verschiedener Orientirung stehende Absonderungsflächen gesehen werden, welche vermöge der auf ihnen fein angedeuteten Schichtenstreifung den mit der Stellung des Auges oder Agats veränderlichen Effect des Gestrickten, Welligen, Damascirten hervorbringen.



Hält man einen dünnen Radialschliff vertical, so in die Sehweite, dafs vom Fenster Licht auf ihn fällt, aber dafs die Richtung nach der man ihn betrachtet auf dunkeln Hintergrund weist, so ist der bläuliche dioptrische Schiller im Maximum, wenn die Radialabsonderungen horizontal liegen, im Minimum wenn sie vertical stehen. Bietet die Platte starke Wechsel in Richtung und Krümmung der Adern dar, so hat diefs entsprechende Wechsel in der Richtung der Radialabsonderungen zur Folge; die Platte erscheint jen- und diefsseits gewisser Linien verschieden hell, und die Helligkeit ist mit der Orientirung der Platte veränderlich. Das Gesagte gilt für alle nicht irisirenden Agate; bei den irisirenden kommt aber Reflexion und Beugung an den Schalen hinzu, und gegen diese intensiven Erscheinungen tritt der schwache Schiller zurück.

Betrachtet man eine Lichtflamme durch einen Radialschliff, so sieht man aufser dem gewöhnlichen Bild der Flamme einen Nebelstreifen senkrecht zu den Radialabsonderungen, also in der Richtung der Adern verlaufend. Bei den brasilianischen Agaten durchsetzt der Nebelstreifen die Flamme und hat in deren Nähe die gröfste Breite; ein braunrother Saum umgiebt denselben namentlich gegen die Enden hin; beim obersteiner Agat, dessen Radialsplitterung viel feiner und regelmäfsiger zu seyn scheint, divergiren von der Flamme zwei wohlbegränzte Büschel von weifslichem Lichte. Bei dünnen Schliffen ($0,5^{mm}$ und darunter) glaubt man oft Spuren von Beugungsspectren in dem Nebelstreifen zu erkennen; im ganzen ist jedenfalls diese so charakteristische Erscheinung als eine rohe von der Radialsplitterung herrührende Beugungserscheinung zu bezeichnen; sie ist von derselben Art, wenn auch nicht derselben Regelmäfsigkeit wie diejenige, welche man am schillernden Adular durch den zweiten Blätterbruch sieht und welche, wie ich gezeigt habe [1]) von denselben Absonderungen herrührt, die auch den katoptrischen Schiller hervorbringen. Im Agat haben die radialen Absonderungen keine feste

1) Diese Ann. Bd. 118. S. 262 und 277.

Richtung gegen die angeschliffenen Flächen; daher das Diffuse der Beugungserscheinung.

Die Adern eines Radialschliffs von 1 bis 1,5^{mm} Dicke, durch den man eine Flamme betrachtet, seyen horizontal: neigt man nun die Platte um eine horizontale Axe, so trübt sich das gewöhnliche Flammenbild und verschwindet bei einer gewissen Schiefstellung vollständig, während gleichzeitig der Nebelstreifen trüber und seine Färbung mehr röthlich wird. Bei einer Drehung der Platte um eine verticale Axe erleidet das Flammenbild keine merkliche Aenderung [1]). Brewster hat beobachtet, dafs bei der Drehung um eine horizontale Axe die Winkel, um welche die Platte von der verticalen Stellung aus in der einen und andern Richtung bis zum Verschwinden der Flamme gedreht werden mufs, verschieden sind; auch habe ich dasselbe gefunden. Da jedoch die Schliffe wohl nie genau senkrecht zu den Schalen sind, da ferner ein vollständiges Verschwinden der Flamme nur in dickeren Platten beobachtet werden kann, wo also die Richtung der Radialsplitterung durch die Dicke der Platte hindurch sich erheblich ändern kann, so vermuthe ich, dafs das Zusammenwirken dieser zwei Umstände die Verschiedenheit jener Neigungswinkel erklären könnte.

Aus dem Bisherigen ergiebt sich, dafs der regelmäfsige Gang von Lichtstrahlen durch einen Agat um so mehr beeinträchtigt wird, je mehr die Strahlrichtung im Innern sich der Normalen der Schalen nähert, so dafs, wie schon in §. 1 gesagt wurde, Tangentialschliffe von mäfsiger Dicke gar kein regelmäfsig gebrochenes Licht durchlassen. Da nun in diesem extremen Falle die Vibrationen des eintretenden Lichts senkrecht sind zu den in allen möglichen Azimuthen liegenden Radialabsonderungen, so dürfte sich die Verhinderung des regelmäfsigen Lichtdurchgangs durch

1) Ich erinnere an die ganz analogen Wirkungen von polarisirenden Turmalinplatten und an die Folgerungen, welche Nörremberg daraus über die Schwingungen des polarisirten Licht gezogen hat. S. J. Müller Phys. 1, S. 804.

die Annahme erklären, dafs die Vibrationen selber gleich beim Eintritt regellose Reflectionen an den Absonderungen erleiden, in deren Folge der Agat von einem Chaos von Wellen durchzogen wird. Aus gleichem Grunde wird aber auch eine Welle polarisirten Lichts, in welcher die Vibrationen senkrecht zu Radialabsonderungen geschehen, einen regelmäfsigen Durchgang durch den Agat nicht finden können.

Schiefe Schliffe habe ich nicht besonders untersucht; die Resultate der Beobachtungen Brewster's in dieser Richtung enthalten jedoch, wie ich glaube, nichts, das sich nicht aus dem bisher Gesagten verstehen liefse.

§. 3.

Die polarisirenden Eigenschaften des Agats hat Brewster schon so vollkommen untersucht, dafs es genügen wird, seine Resultate hier kurz zusammenzustellen:

1. Ein Radialschliff von etwa 1^{mm} Dicke kann in erträglicher Weise als polarisirendes oder analysirendes Medium dienen. Die Richtung senkrecht zu den Schalen entspricht der optischen Axe einer Turmalinplatte oder der kleinen Diagonale eines Nikols. Eine gehärtete Glasplatte zeigt das schwarze Kreuz, wenn die Schalen des analysirenden Agats senkrecht zur Reflexionsebene des polarisirenden Spiegels stehen.

2. Das regelmäfsige Bild einer Flamme und der Nebelstreifen zeigen, mit Turmalinplatte oder Nikol geprüft, entgegengesetzte Polarisationszustände; ist das erste im Maximum, so ist der Nebelstreifen im Minimum, und wenn der letzte am dichtesten erscheint, ist das regelmäfsige Bild verschwunden. Ein Glimmer- oder Gypsplättchen werde im gewöhnlichen Polarisationsinstrument mit Hülfe eines Nikols auf höchste Farbe in dunklem Feld z. B. roth gestellt und nun der Nikol durch einen Agat ersetzt, dessen Adern senkrecht zur Polarisationsebene des Spiegels stehen: das Plättchen erscheint ebenfalls roth, der Nebelstreifen aber grün, also complementär. Es ist passend das Plättchen

mit einem durchlöcherten Carton zu bedecken und durch ein aufgesetztes Rohr das Seitenlicht abzuhalten.

Brewster hat in richtigem Tacte geahnt, dafs es sich hier um eine ganz eigenthümliche Art von Doppelbrechung handle; mit voller Bestimmtheit und klarer Einsicht in die bedingenden Ursachen hat diefs aber erst Max Schultze in seiner im Eingang citirten Schrift ausgesprochen.

Durch irgend eine der bekannten Methoden zur Bestimmung des Charakters der Doppelbrechung einer Substanz erkennt man an jedem dünnen Radialschliff, dafs die optische Elasticität senkrecht zu den Schalen, also in der Richtung, welche als optische Axe aufzufassen ist, gröfser ist als in der Richtung der Schalen. In Folge hiervon zerfällt eine Lichtwelle bei senkrechtem Eintritt in einen Radialschliff in zwei rechtwinklich polarisirte Wellen. In der einen erfolgen die Vibrationen senkrecht zu den Schalen oder parallel den Absonderungen, und einer regelmäfsigen Transmission dieser Welle stehen keine Hindernisse im Wege; ein kleiner Theil des Lichts erfährt die beugende Wirkung der Radialabsonderungen: dieser Welle entspricht nothwendig das helle und ziemlich klare, mäfsig umnebelte dioptrische Bild. In der anderen Welle stehen die Vibrationen senkrecht zu den Radialabsonderungen, eine regelmäfsige Transmission ihrer Vibrationen ist nach dem Früheren unmöglich. Würden die Absonderungen nur wirken, wie im Glassatz, so könnten allerdings auch diese Vibrationen regelmäfsig durchgelassen werden; so aber wirken sie auf den gröfsten Theil dieser Welle wie ein unregelmäfsiges Gitter, das Licht erfährt eine regellose Beugung in einer zu den Gitterstäben senkrechten Ebene und verbreitet sich dadurch zum gröfsten Theil über einen gewissen Raum aufserhalb des gewöhnlichen dioptrischen Bildes. Nach dem unter No. 1 dieses Paragraphen Gesagten fällt die Polarisationsebene des regelmäfsig durch den Agat gehenden Lichts mit den Schalen zusammen; nach der eben gegebenen Erläuterung sind die Schwingungen dieses Lichts nothwendig senkrecht zu den Schalen: daher erfolgen über-

haupt die Schwingungen des polarisirten Lichts senkrecht zu der sogenannten Polarisationsebene. Der Agat führt somit zu demselben Resultate, zu dem ich auch durch die Gesammtheit meiner Beobachtungen über den Krystallschiller gelangt bin [1]).

Es ist mir nicht unwahrscheinlich, dafs die stark polarisirende Kraft mancher wenig gefärbter Turmaline auf einem ähnlichen Hergang beruht wie beim Agat. Aus Nörremberg's Nachlafs besitzt die hiesige Sammlung eine der Axe parallel geschliffene Platte, welche zwischen zwei bräunlichen Partieen einen graulichen Streifen von 7^{mm} Breite enthält, der bei einer Dicke von 0,35^{mm} Dicke das Licht aufs Vollständigste polarisirt. Sieht man durch die Platte nach einer Flamme, so erkennt man deutlich einen feinen Nebelstreifen, der auf Absonderungen parallel der Axe hinweist. Die geringe Durchsichtigkeit der Turmaline nach der Axe erklärt sich wohl am einfachsten wie beim Agat durch Absonderungen parallel den hexagonalen Säulenflächen, welche ohnehin Spaltungsflächen sind [2]).

Ueber die Ursache der Doppelbrechung des Agats und ähnlicher Gebilde spricht sich Max Schultze auf S. 20 der oben citirten Schrift, sowie im Archiv für Anatomie und Physiologie von Reichert 1861, S. 238 u. f. so klar und bestimmt aus, dafs ich es für überflüssig halte, hierauf an dieser Stelle näher einzugehen, während ich allerdings bei Besprechung der Entstehung der Agate Gelegenheit haben werde darauf zurückzukommen.

Die Entstehung des Agats.

§. 4.

Was dem geometrischen Auge bei Betrachtung regelmäfsiger Agate vor Allem entgegentritt, das ist der Umstand, dafs die Gränzen der aufeinander folgenden Schichten im Allgemeinen als ein System äquidistanter Flächen eines oft sehr unregelmäfsigen Hohlraums erscheinen. Nun giebt es

1) Diese Ann. Bd. CXX, S. 117.

2) Des Cloizeaux, *Manuel de Minér. p.* 506.

einen technischen Procefs, das sogenannte *Stürzen*, durch welchen derartige Gebilde ohne grofse Mühe hergestellt werden können: giefst man nämlich geschmolzenes Wachs. Zinn, Zink [1]) oder einen dünnen Gypsbrei [2]), oder noch besser Collodium in einen irgendwie gestalteten Hohlraum, läfst die Flüssigkeit überall im Innern herumlaufen und giefst den Ueberflufs aus, so bleibt von diesen Substanzen eine Schichte in Folge von Erstarren oder von Adhäsion an der inneren Wand hängen. Wiederholt man diesen Procefs mit Gypsbrei oder Collodium nach jedesmaligem Erstarren einer Schichte sehr oft in der Art, dafs man abwechselnd verschieden gefärbte Masse anwendet, so erhält man endlich einen Körper, dessen Querschnitte Aehnlichkeit mit den Agaten darbieten. Je dünner und gleichförmiger die einzelnen Schichten sind, um so weniger werden die inneren Flächen von den geometrischen Aequidistanten des Hohlraums abweichen, während allerdings in der Natur dieses Processes liegt, dafs in der Nähe scharfer Ecken und Kanten eine mit der Anzahl der Schichten zunehmende Abrundung der entsprechenden Ecken und Kanten der Aequidistanten, gleichsam eine Milderung der geometrischen Härte eintritt.

Ohne uns mit der Frage zu beschäftigen, durch welches dem Stürzen analoge Naturspiel die Agate entstanden seyn könnten, wollen wir zunächst sehen, wie sehr die Agate der Wirklichkeit einer Entstehungsweise, wie die eben beschriebene, entsprechen. Denken wir uns als Hohlraum einen recht einfachen, jedoch nicht kugelförmigen Raum, etwa ein Umdrehungsellipsoïd, dessen Drehaxe mit der kleinen Axe bb' (Fig. 4 Taf. I) zusammenfällt; α, α', β, β' seyen die Krümmungsmittelpunkte in den gleichnamigen Scheiteln der Meridianellipse. So lange nun der Abstand einer inneren Aequidistante kleiner ist als der kleinste Krümmungshalbmesser $a\alpha$, so lange verlaufen die Aequidistanten in irgend einem Meridian als ellipsenähn-

1) Karmarsch, mech. Techn. 3. Aufl. S. 114, 115, 133.
2) Knapp, chem. Techn. I, S. 653.

liche Curven; sobald aber der Abstand gröfser als *aa* geworden ist, so erhält die geometrische Aequidistante vier Spitzen *c*, *e*, *e'*, *c'*, welche auf der Evolute des Meridians liegen und es ist einleuchtend, dafs die Partieen *cic'c*, *eie'e* bei der oben beschriebenen Entstehungsweise nicht zu Stande kommen, sondern dafs nur ein linsenförmiger Raum *idid'i* übrig bleibt. Erinnert man sich aber, dafs alle Agate senkrecht zu den Schalen in der ganzen Masse aufs Feinste durchsplittert sind, so begreift man, dafs die ganze Strecke *ai* in einem dünnen Meridianschliffe optisch ausgezeichnet seyn mufs; an dieser Strecke treffen nämlich die Radialabsonderungen unter einem endlichen von *a* gegen 0, von 0° bis 180° wachsenden Winkel zusammen und hiermit hängen die Wechsel des dioptrischen Schillers zusammen, von denen schon in §. 2 die Rede war. An mehreren Schliffen von regelmäfsig gekrümmten obersteiner Mandeln habe ich die hier bezeichneten Erscheinungen beobachtet.

Bietet der ursprüngliche Hohlraum eine nach Innen oder Aufsen springende Kante dar, so liegen die entsprechenden Kanten der äquidistanten Flächen auf einer bestimmten krummen Fläche, welche ich *Kantenzug* nennen will; ein Radialschliff (Fig. 5 Taf. I) bildet dann eine Ecke z. B. *a* und einen *Eckenzug ac* dar; jen- und diefsseits eines Kantenzugs findet dann, wegen des plötzlichen Wechsels in der Richtung der Radialabsonderung, in dünnen Platten ein wechselnder dioptrischer Schiller statt. Tritt eine zweite Ecke *b* hinzu, so kann der neue Eckenzug *bc* den ersten *ac* treffen; vom Durchschnittspunkt *c* an hört das Flächenstück (2) auf sich an der Bildung der Aequidistanten zu betheiligen, dagegen treffen sich jetzt die Aequidistanten der Flächen (1) und (3) direct und bilden einen eigenen Eckenzug *cd*, gleichsam den Stiel der Gabel *acb*. Jeder gröfsere Radialschliff, namentlich aber die prächtigen Regenbogenagate vom Weifselberge bei Oberkirchen, bieten reichliche Beispiele für das oben Gesagte. Bei einem (wahrscheinlich brasilianischen) Agate habe ich über diefs auf

einem Schliffe fast nach allen Eckenzügen feine Sprünge beobachtet; diefs deutet auf Sprünge längs den Kantenzügen, welche ohnehin wegen des plötzlichen Wechsels in der Richtung der Radialabsonderungen Stellen geringerer Cohäsion seyn müssen.

§. 5.

So gut sich die Agate in der Hauptsache dem Aequidistantengesetz anschliefsen, so existirt doch wohl keiner, der nicht an mehreren Stellen sehr erhebliche Abweichungen von diesem Gesetz zeigte. Nicht blofs sieht man an durchgeschlagenen oder geschliffenen Stücken leere oder erfüllte Kanäle, die ins Innere führen, sondern man sieht auch wie Schichten, die an anderer Stelle dem Hohlraum concentrisch sind, in der Nähe dieser Kanäle deren Zug folgen, sich gegen den Umfang hin oft bis zum Verschwinden verdünnen und im Allgemeinen ein Bestreben zeigen sich nach Aufsen fortzusetzen. Ich verweise in dieser Beziehung auf die instructiven Abbildungen zu Nöggerath's Sendschreiben, besonders die Figuren 5, 7, 8, 9. Eine grofse Mandel der hiesigen Sammlung enthält auf einer angeschliffenen Fläche am Umfang 6 unverkennbare Durchschnitte von Kanälen, die nach Aufsen führen, und in der Fläche selber mehrere Andeutungen, namentlich den schiefen Schnitt eines Zapfens, der mit der innersten ebenfalls aus amorphem Quarz bestehenden Ausfüllung communicirt. Die ganze Mandel enthielt höchst wahrscheinlich eine sehr grofse Anzahl solcher Verbindungswege von Aufsen und Innen, die sich allmählich angefüllt haben.

Allerdings trifft man vielfach Schliffe, denen solche Andeutungen ganz fehlen, ferner findet man gar oft ganze Mandeln, die an ihrer Oberfläche keine Spuren einer früheren Communication mit Aufsen verrathen und den Eindruck machen, als ob es sich um Individuen handle, welche »in der Höhlung eines festen Fels« entstanden wären [1]). Aber es scheint nicht, als ob man gerade solche Mandeln näher untersucht hätte. Die obersteiner Agate, die ich Hrn.

1) Brewster, diese Ann. Bd. LXI, S. 138.

August Veeck verdanke, setzten mich in den Stand diefs zu thun; die Mandeln waren von mäfsiger Gröfse, mäfsig rauher Oberfläche, bis tief hinein aufs Feinste geschichtet, die kleinen linsenförmigen Innenräume mit krystallinischer Masse dicht angefüllt. Beim systematischen Zerschlagen zeigte sich nicht nur, dafs der krystallinische Kern an mehr als einer Stelle Ausläufer gegen den Umfang der Mandel hatte, sondern dafs auch die anliegenden Schichten in der Nähe dieser Ausläufer mit Vehemenz umbogen und die Richtung derselben einschlugen. An etlichen dünnen Schliffen, welche nichts von der krystallinischen Masse an sich trugen, war der von dem Aequidistantengesetz vollkommen abweichende Zug der Schichten gegen eine Stelle des Umfangs mit gröfster Bestimmtheit zu verfolgen, und an einem Stücke unterschied ich deutlich einen innersten bandförmigen Kanal, der wohl zu allerletzt noch als Zuführungsweg gedient hatte.

Die Ansicht, dafs die Ausfüllung der ursprünglichen Hohlräume durch ein successives Durchschwitzen der steinbildenden Flüssigkeit durch die Wände der Mandeln erfolgt sey, scheint daher mit der Wirklichkeit nicht übereinzustimmen, und ich möchte zu den von Nöggerath (S. 8 und 9) gegen dieselbe beigebrachten Argumente noch hinzufügen, dafs auf diese Weise die wunderbare Feinheit der Schichten, der Wechsel in Farbe und Lichtbrechungsvermögen, der plötzliche Uebergang vom Amorphen ins Krystallinische, namentlich aber jene so charakteristischen Abweichungen vom Aequidistantengesetz nicht erklärbar sind. Auf der anderen Seite werden wir uns nicht verhehlen, dafs auch die zweite Ansicht, nach welcher die kieselhaltige Flüssigkeit durch offene Wege und Thore in die Mandeln einzog, noch einer wesentlichen Ergänzung bedarf; denn so lange nicht gezeigt werden kann, dafs unter diesen Umständen die Ablagerung in der bekannten regelmäfsigen Weise geschehen mufste, hat diese Hypothese etwas Vages, ich möchte sagen Rohes, und ich erkläre mir damit, dafs selbst Männer ersten Rangs, denen sicher die

sogenannten Infiltrationskanäle gar wohl bekannt waren, sich mehr zu der ersten Ansicht hinneigen, welche wenigstens die Befriedigung gewährt, dafs bei ihr das oberste Gesetz der Agatbildung, das Aequidistantengesetz einigermafsen zur Geltung kommt.

§. 6.

Die grofse Analogie zwischen den Agaten und den Producten eines wiederholten Stürzens legt es nahe anzunehmen, die Agate seyen dadurch entstanden, dafs Hohlräume von kieselerdehaltiger Flüssigkeit, nach längeren Perioden, abwechselnd gefüllt und entleert waren. Da von einer Füllung zur andern die Füllmasse sich möglicherweise geändert haben konnte, so würde die Differenz der Schichten begreiflich. Durch welches Spiel von Kräften wurde aber dieser Wechsel von Füllungen und Entleerungen unterhalten? Man könnte zunächst an heberartige Fortsätze der Hohlräume denken, welche eine Anfüllung bis zu gewisser Höhe zuliefsen, dann aber eine vollständige Entleerung einleiteten; man wird aber den Gedanken an solche diabetesartige Anordnungen fallen lassen, wenn man erwägt, dafs zu erklären ist, wie jenes Spiel von Füllungen und Entleerungen sich auf ein ganzes System von Hohlräumen erstrecken konnte, und da scheint mir der Gedanke an *intermittirende Thermen* ein sehr naturgemäfser zu seyn. Im Hinblick auf das, was von Bunsen in Betreff der isländischen Thermen festgestellt worden ist [1]), werden wir jedoch nicht an diejenigen Stofsquellen denken, deren Repräsentant der grofse Geisir ist, sondern an die andere Kategorie von Thermen, welche durch »die Dauer ihrer Ausbrüche, das langsame aber stetige Wachsen und Abnehmen derselben, und die grofse Regelmäfsigkeit ihrer Periodicität« ausgezeichnet sind, und deren Wirkung sich in befriedigender Weise durch die zuerst von Mackenzie [2]) aufgestellte Hypothese unterirdischer Dampfkessel erklärt.

1) Ann. der Chem. u. Pharm. Bd. LXII, S. 40 u. f.

2) Bertuch, n. Bibl. d. w. Reisebeschr. 1815.

Was die andere nicht minder wichtige Frage betrifft: woher die gelöste Kieselerde komme, so glaube ich, dafs sie durch die wichtigen Versuche von Daubrée [1]), nach welchem Wasser bei hohem Druck und hoher Temperatur Kieselsäure aus Silicaten abzuscheiden vermag, ihre Erledigung findet.

Die Hohlräume in denen die Agate abgelagert sind, verdanken, nach den Untersuchungen von Lasius, L. v. Buch, Nöggerath (Sendschr. S. 2, 3), ihr Daseyn den Dampf- oder Gasblasen, welche in der zähflüssigen Melaphyrmasse aufgestiegen und festgehalten worden sind. Im Verlauf des Erstarrens erhielt ohne Zweifel die Masse zahllose Spalten und Sprünge, welche an den Hohlräumen als Stellen kleinsten Widerstands begonnen, sich von Hohlraum zu Hohlraum erstreckten, und so eine Communication derselben unter einander, sowie nach Oben und Unten vermittelten. Nun erst konnten die Tagwasser auf das jungfräuliche noch heifse Gestein einwirken, dasselbe auslaugen und endlich in tiefer liegende Dampfkessel zu weiterer Concentration gelangen. Diese Kessel erhielten nun theils vom anliegenden Gestein, theils und wohl reichlicher von dem in gröfsere Tiefe hinabgesunkenen und in Dampfform von dort zurückgekehrten Wasser einen stetigen Wärmezuflufs, durch welchen die untere Flüssigkeit allmählich auf ihren Siedpunkt erwärmt wurde. Die gespannten Dämpfe trieben alsdann die darüberstehende Flüssigkeitssäule durch die Spalten und Hohlräume in die Höhe, und fanden endlich nach oben einen Ausweg. Hiedurch aber, sowie in Folge des für die Arbeit der Hebung nothwendigen Wärmeverbrauchs, mufste eine Abkühlung des Kesselraums eintreten; die Flüssigkeit sank wieder zurück, die Hohlräume und Spalten in entgegengesetzter Richtung durchlaufend. Sank hierbei die Flüssigkeit zum gröfseren Theil in den Kessel zurück, so entleerten sich die Hohlräume bei der absteigenden Bewegung zum zweiten Male, und wir hätten so für viele der vorhandenen Hohlräume eine *aufsteigende* und

1) *Etudes et expér. synth. sur le métamorphisme. Paris* 1860.

eine *absteigende Entleerung.* Weil ferner bei der ersteren die Füllmasse wahrscheinlich concentrirter, wohl auch stärker gefärbt war als bei der zweiten, sofern das Auf- und Absteigen mit einem Absatz von Stoffen verbunden, wohl auch von einer Mischung mit dem Tagwasser begleitet war, so begreift man die Differenz der Schichten, welche bei der aufsteigenden und absteigenden Entleerung in den Hohlräumen zurückblieben, wozu noch der wesentliche Umstand kommt, dafs die erste Schichte ihre Consistenz unter der Wirkung heifser Dämpfe, die zweite unter Berührung mit der Atmosphäre erhielt, wodurch selbst bei gleicher Färbung der Füllmasse eine physikalische Verschiedenheit der anstofsenden Schichten gegeben war.

Dieser scheinbar so einförmige Procefs der abwechselnden Füllungen und Entleerungen enthält einen solchen Reichthum von Möglichkeiten, dafs es ein vergebliches Unternehmen wäre, sie alle bezeichnen zu wollen: die Wege vom Kessel nach Oben konnten vom höchsten Punkte ausgehen oder von tiefer liegenden Stellen, in welch letzterem Falle nothwendig ein Theil des Kesselinhalts durch die Dämpfe ausgetrieben werden mufste: das Wasser drang durch die Hohlmandeln selber in die Kessel, oder von anderer Seite her; die Therme konnte die Flüssigkeit bis über die Oberfläche hinaus treiben und dort zerstieben, oder ein begränztes Flüssigkeitsquantum pulsirte nur in langen Perioden in den Hohlräumen auf und ab; die tiefer liegenden Hohlmandeln entleerten sich nur bei der aufsteigenden Bewegung; höher liegende Hohlräume wurden nur vom Gipfel einer pulsirenden Säule erreicht und die entleerten Hohlräume standen nur mit der Atmosphäre in Berührung, in welchem Falle wohl besonders regelmäfsige Schichten (vielleicht die der irisirenden Agate) abgelagert werden mufsten, u. s. f. Bei meiner Unkenntnifs geognostischer Verhältnisse enthalte ich mich hierauf weiter einzugehen und erlaube mir nur noch auf einige Punkte aufmerksam zu machen, die sich mir beim Studium der Agate dargeboten haben.

Die obersteiner Agate zeigen am Rande allezeit eine Art Schale von hellerer Farbe; die Schichtenbildung ist daselbst ziemlich unvollkommen, und namentlich im polarisirenden Mikroskope unterscheidet sich diese Partie sehr wesentlich von der regelmäfsig geschichteten Hauptmasse; während nämlich auf dünnen Radialschliffen die letztere lange zu den Schalen senkrechte farbige Streifen zeigt, bietet die erste nur schwache confuse Farben und wirkt in der Hauptsache depolarisirend. Ich erkläre mir diesen Umstand damit, dafs die ersten Füllungen und Entleerungen mit gröfserer Vehemenz und Unordnung vor sich gingen, und dafs die noch wenig concentrirte und wenig gefärbte Masse bei zu hoher Temperatur fest wurde.

Chalcedon ist nach Fuchs ein Gemenge krystallinischen und amorphen Quarzes. An einem wahrscheinlich brasilianischen Agate habe ich an mehreren Schichten deutlich eine beginnende Krystallisation beobachtet. Die Möglichkeit hiervon begreift man, wenn man bedenkt, dafs, bei jeder längeren Pause der Therme, die in gefüllten Hohlräumen befindliche Flüssigkeit ein Bestreben hatte, ihre Kieselerde krystallinisch abzusetzen, und wenn es nur selten hierzu kam, so ist das aus der Unruhe der Therme auch während der Pausen zu erklären. Eine spätere Schichte setzte sich dann auf die durch beginnende Krystallisation rauh gewordene Fläche nicht mit derselben Festigkeit an, wie die gewöhnlichen Schichten unter einander; in Wirklichkeit war der obige Agat nach einer solchen rauhen Schichte, die sich in der angeschliffenen Fläche verfolgen läfst, beim Zerschlagen gesprungen. Die sogenannte Fortificationsagate verdanken wohl ihre Entstehung dem Wiederbeginn der Pulsationen nach längerer Ruhe, während welcher die Krystallisation walten konnte.

Viele Agate sind durchweg mit Chalcedonmasse erfüllt; sie hatten Zeit sich ganz zu füllen, ehe die Therme ihre Intermittenzen eingestellt hatte. Blieben aber nach diesem Zeitpunkt noch Hohlräume übrig, so gab es keine Schichtung mehr, sondern nur noch krystallinischen oder sonsti-

gen Absatz. Aber auch während dieser letzten Epoche mufste noch Verbindung mit Aufsen stattfinden; die Flüssigkeit mufste durch einen wenn auch äufserst langsamen Strom von Unten oder Oben erneuert werden, um das für die Krystallisation nöthige Material bis zu partieller oder gänzlicher Erfüllung des Hohlraums zu liefern. Selbst bei Hohlräumen, die nur noch durch *eine* Oeffnung mit Aufsen communicirten, war ein solcher Austausch durch Wirbel und Diffusion denkbar.

Was die Spalten und Gänge betrifft, durch welche die Mandeln unter einander communicirten, so konnte von einem geschichteten Absatz in denselben nur an solchen Stellen die Rede seyn, wo dieselben eine gewisse Weite hatten oder allmählich erreichten; in den engen Partieen war die Geschwindigkeit der auf- und absteigenden Ströme zu grofs, als dafs überhaupt eine merkliche Ablagerung stattfinden konnte; im Gegentheil werden diese Spalten eher ausgewaschen worden seyn. Je nach der Natur des Gesteins konnte dieses Auswaschen das einemal mehr röhrenartige Wege, das anderemal durch blofse Erweiterung der Spalten bandartige Kanäle hervorbringen, ein Umstand der seinerseits von Einflufs auf die Schichtenbildung seyn mufste; denn war z. B. eine Mandel von einem verticalen Spalt durchsetzt, so war Gelegenheit zur Bildung horizontaler Schichten gegeben, während eine Mandel, welche an vielen Stellen ihres Umfangs mit Aufsen communicirte, sich mehr für concentrische Schichtung eignete. Ich verweise in dieser Beziehung auf Nöggerath's Sendschreiben S. 9 bis 11 und auf die daselbst erwähnten Beobachtungen von L. v. Buch.

Durch nachfolgendes Zusammenrutschen der zerklüfteten, ausgewaschenen oder gar durchweichten Melaphyrmasse konnten endlich die noch nicht erhärteten Agate mancherlei Deformationen durch Quetschung und Abreibung erfahren, oder auch nach vollständiger Erhärtung zerbrochen und neuerdings verkittet werden.

§. 7.

Eine besondere Betrachtung erfordert noch der Act des

Erhärtens der einzelnen Schichten. Kieselgallerte ist ohne Zweifel eine Masse, die wie Collodium [1]) beim Verdunsten des Lösungsmittels eine sehr erhebliche Contraction erleidet. Nehmen wir an, es sey in Folge auf- oder absteigender Entleerung eines Hohlraums in demselben eine dünne Schichte von Kieselgallerte zurückgeblieben: nach Analogie mit der Collodiumhaut überzog sich die frische Schichte zuerst mit einer dünnen Membrane, welche sich unter Contraction gegen die ältere Schichte hin verdickte. Bei der Contraction in radialer Richtung konnten die Molecüle den ihrem natürlichen Gleichgewicht entsprechenden Abstand einnehmen; in tangentieller Richtung aber war diefs nicht in gleichem Grade möglich, sofern die Adhäsion an der älteren Schichte dem freien Zusammentreten der Molecüle ein Hindernifs in den Weg legte. Jede neue Schichte legte sich so an eine frühere unter einer tangentiellen Spannung, und hierin liegt, wie M. Schultze (Archiv f. Physiol. 1861. S. 239 u. f.) in überzeugender Weise gezeigt hat, die Ursache der Doppelbrechung und weiterhin der optisch negative Charakter derselben für den Agat und alle Körper, bei welchen sich »aus flüssiger oder breiweicher Substanz erhärtend und dabei sich zusammenziehend, eine dünne Schichte einer Substanz auf die andere ablagert.«

Die erwähnte Bildung einer Membrane an der äufsern Fläche einer frischen Schichte hatte wohl noch eine anderweitige Bedeutung: durch sie wurde der Act der Verdunstung verlangsamt, die regelmäfsige Ablagerung der Schichten begünstigt und sogar ein Theil des Wassers zurückgehalten, dessen Gegenwart für die Durchsichtigkeit der Agate, so wie für das frische Aussehen der Farben bei den gefärbten wesentlich scheint. Alle durchsichtigen Agate verwandeln sich durch Glühen unter anfänglichem heftigem Spritzen in eine weifse undurchsichtige Masse, welche das Wasser später nicht wieder anzunehmen scheint; farbige

1) In Betreff der eigenthümlichen Erscheinungen, die ich an einer freien in Concentration begriffenen Collodiumhaut beobachtet habe, verweise ich auf das Univ.-Programm vom Herbst 1860, S. 23 bis 26.

Agate verlieren durch Glühen namhaft an Intensität ihrer Farben.

Es ist sehr wahrscheinlich, dafs die frischen Agate ihre Räume längere Zeit als continuirliche Masse erfüllten und dafs erst in Folge allmählicher Abkühlung und Entwässerung des Gesteins die radiale und die §. 1 besprochene traubige tangentielle Absonderung eintrat. Durch die erste Absonderung machte sich die tangentielle Spannung, unter deren Wirkung die Schichten als Continuum bis zu einem gewissen Grad von Consistenz gelangt waren, in zahllosen die ganze Masse radial durchsetzenden Sprüngen Luft; durch die traubige Absonderung lösten sich radiale Spannungen.

Das constante Auftreten der Radialsplitterung im geschichteten Chalcedon hat mich an das merkwürdige Phänomen der regelmäfsigen Zerklüftung gewisser Basalte [1]) erinnert. Wenn es erlaubt ist, Kleines mit Grofsem zu vergleichen, so könnten die geschichteten Basalte ebenfalls von einem Stürzprocesse herrühren, durch welchen ein immenser Hohlraum sich periodisch füllte und entleerte, wie bei der Agatbildung. Die säulenförmige Absonderung des Basalts entspräche in derber Weise der Radialsplitterung, die Quersprünge bezögen sich entweder auf die ursprüngliche Schichtung selber oder entsprächen der traubigen Absonderung der Agate. Ich begnüge mich aber aus nahe liegenden Gründen mit der einfachen Hinweisung auf die Analogie, die sich mir dargeboten hat und schliefse mit der Bitte um Nachsicht von Seiten der Geologen und Mineralogen, deren mir fremdes Gebiet ich so vielfach ohne genügende Kenntnifs und Anschauung zu betreten gewagt habe.

Tübingen, 18. Juni 1864.

1) Quenstedt, Mineralogie 2. Aufl. S. 781 u. f.

V. *Thermometrische Versuche;*
von Dr. Georg Recknagel in München.

(Auszug aus der Habilitationsschrift des Verfassers.)

In der vorliegenden Experimentalarbeit wird der Gang des aus gewöhnlichem Natronglase [1]) verfertigten Quecksilberthermometers zwischen 0° und 100° C. mit dem Gange eines Luftthermometers verglichen, welches nach dem Princip des constanten Volumens construirt und mit Luft gefüllt ist, deren Spannung bei 0° vom gewöhnlichen Barometerstande nicht weit abweicht. Zur Constatirung des Resultates sind zugleich Bestimmungen des Ausdehnungscoëfficienten der Luft und Studien über die Verrückungen des Nullpunktes an Quecksilberthermometern vorgenommen worden.

Seit Gay-Lussac's Vergleichungen war die Meinung, dafs beide Thermometer zwischen 0° und 100° übereinstimmen, so sicher, dafs selbst Hr. Regnault [2]), nachdem er jene Versuche mit Gewichtsthermometern aus ordinärem Glase wiederholt hatte, sich über seine Resultate in folgender Weise äufsert:

»Aus diesen Versuchen ersieht man, dafs zwischen 0° und 100° das Luftthermometer beinahe genau mit dem Quecksilberthermometer übereinstimmt, was die älteren Beobachtungen des Hrn. Gay-Lussac bestätigt. Es ist jedoch zu bemerken, dafs bei meinen Versuchen das Luftthermometer gegen die Mitte seiner Scale beständig um etwa 0°,2 hinter dem Quecksilberthermometer zurückbleibt. Diefs scheint anzuzeigen, dafs in dem Gange beider Ther-

1) Aus Untersuchungen von J. J. Pierre (*Annales de chim. et de chim. et de phys. T. VI* 1842) geht hervor, dafs sich für Quecksilberthermometer von verschiedenem Glase zwischen 0° und 100° ein merklich verschiedener Gang nicht nachweisen läfst.

2) Pogg. Annalen Bd. 57. — *Annales de chim. et de phys. T. VI* 1842. — *Mem. de l'Acad. roy. des sciences T. XXI* 1847.

mometer wirklich ein kleiner Unterschied vorhanden ist, aber ein zu kleiner, als dafs es nöthig wäre, darauf Rücksicht zu nehmen. Er fällt überdiefs zwischen die Unsicherheitsgränzen, welche von der Verrückung des Nullpunktes am Quecksilberthermometer abhängen«.

In der That hat Hr. Regnault soweit von seinen Versuchsresultaten abgesehen, dafs man aus seinen Tabellen für die Ausdehnung des Quecksilbers und ordinären Glases die Temperaturangabe des Quecksilberthermometers bei + 50° um 0°,17 *tiefer* rechnet als die des Luftthermometers, während das Experiment sie um 0°,2 höher gegeben hatte. Es beträgt also die bei der Reduction des Quecksilberthermometers auf das Luftthermometer bestehende Unsicherheit in der Mitte der Scale zur Zeit noch mehr als 0,°3, und diefs scheint zuviel, als dafs man sich dabei beruhigen müfste. Denn mit einigem Fleifse werden Quecksilberthermometer construirt, welche vorsichtig behandelt, in ihren Angaben durchaus bis auf 0°,1 übereinstimmen, und man überzeugt sich leicht, dafs das Luftthermometer in der Form, in welche es nach Prof. Jolly's Angabe gebracht und durch dessen Güte mir zur Verfügung gestellt war, einer mindestens eben so grofsen Präcision fähig ist. Was endlich die Verrückungen des Nullpunktes betrifft, so können diese bei planloser Behandlung der Instrumente allerdings von solcher Bedeutung werden, dafs die Temperaturbestimmung um mehre Zehntel von Graden falsch wird. Man gelangt aber durch ein etwas eingehenderes Studium ihrer Ursachen zu Regeln für die Behandlung der Quecksilberthermometer, deren Befolgung die hier wünschenswerthe Sicherheit in der That verbürgt.

Die Vortheile der neuen Construction des Luftthermometers bestehen erstlich darin, dafs das constante Volumen, statt durch einen aufsen auf die Röhre aufgeätzten horizontalen Strich, nun durch das Zusammenfallen einer in *S* eingeschmolzenen Glasspitze (Fig. 6 Taf. I) mit ihrem Bilde auf dem Spiegel der Quecksilbersäule markirt ist. Hierdurch ist ein Ableser erspart und die Genauigkeit der Ein-

stellung vermehrt. Zweitens werden die Druckhöhen über dem Niveau der Spitze in *S* mit einer innerhalb der Glasröhre *NM* durch den Trieb in *r beweglichen* Messingscale gemessen, welche in eine Stahlspitze ausläuft und in *f* eine Führung in der Röhre hat. Diese Einrichtung macht, wenn man die Mefsröhre *NM* mit Hilfe des Senkels und der Fufsschrauben in *F* vertical stellt, ein Kathetometer oder mindestens einen zweiten Ableser entbehrlich. Drittens erlaubt der Dreiweghahn in *H* die Communication der Quecksilbersäulen unter sich und mit der als Quecksilberreservoir dienenden Stopfbüchse *Q* beliebig herzustellen und zu unterbrechen, was auf mehrfache Art ausgenützt werden kann.

Das Instrument kann man auf folgende Weise für den Versuch vorbereiten. Man bestimmt das Gröfsenverhältnifs der Capillare (*c*) und des Raumes (*v*), in welchem sich die Spitze befindet, zu dem Inhalte des eigentlichen Luftbehälters *V* durch Wägung (wegen des umgekehrten Meniskus am besten mit Wasser), trocknet dann den Glasapparat *Vcs* vorläufig soweit aus, bis alle sichtbaren Spuren von Wasser entfernt sind, und kittet ihn, nachdem man die Capillare zweimal im Knie gebogen, in das Eisenstück *LH* ein, in welches auch die Mefsröhre *NM* eingesetzt ist, die zur Vermeidung eines ungleichen Einflusses der Capillarität mit der Röhre *S* gleiches Kaliber hat (hier 18^{mm} inneren Durchmesser).

Darauf wird der vordere Theil des Apparats mittelst der Ueberwurfschraube in *K* abgenommen und auf den Trocken-Apparat geschraubt, der bei den vorliegenden Versuchen schliefslich in einer über 4 Fufs langen mit geschmolzenem Chlorcalcium gefüllten, mit der Luftpumpe in Verbindung gesetzten Röhre bestand. Man wird bei gut luftdichtem Verschlufs unter beständiger Erhitzung des ganzen Glasapparats 20 bis 30 Mal evacuiren und trockene Luft möglichst langsam einströmen lassen, bis man das Geschäft des Austrocknens beendigt und, nach Abschliefsung des ausgetrockneten Raumes durch den Hahn *H*, den Apparat zurückbringt, um nun das *Niveau* zu bestimmen, d. i.

diejenige Ablesung in *O* zu ermitteln, bei welcher die beiden Spitzen, *S* und die der Scale, in horizontaler Linie liegen. Diefs wird durch Einstellung beider auf den horizontalen Faden eines Fernrohrs bewerkstelligt, und dessen etwaige Abweichung von der Horizontalen in dem arithmetischen Mittel aus zwei Ablesungen vor und nach der Drehung des Luftthermometers oder Umlegung des Fernrohrs eliminirt.

2. Die zu messende Spannung der eingeschlossenen Luft ist nun theils durch die Höhe *h* der Quecksilbersäule über dem Niveau der Spitzen, theils durch den Barometerstand *H* bestimmt und die Summe aus beiden. Es ist somit die Zuverlässigkeit der Messungen durch die Güte des *Barometers* wesentlich bedingt. Das hier verwendete ist ein Gefäfsbarometer, welches wiederholt ausgekocht und mit einer Versicherung gegen aufsteigende Luftblasen versehen war. Der Durchmesser des Röhrenstückes, in welchem die Quecksilbersäule endigt, beträgt über 22^{mm}, so dafs eine Capillardepression nicht in Rechnung zu bringen ist [1]). Der cubische Inhalt des Vacuums beträgt bei dem mittleren Barometerstande von 720^{mm} über 33 Cubikcentimeter. Das äufsere Niveau des Quecksilbers kann durch eine Schraube stets so verstellt werden, dafs der durch eine Schneide repräsentirte Nullpunkt der neben der Röhre vertical aufgestellten Glasscale mit seinem Spiegelbilde zusammenfällt. Die Ablesung wird nach einigen kleinen Erschütterungen der Röhre mit einem 5 bis 6 Fufs entfernten horizontal gestellten Fernrohre mit horizontalem Faden gemacht.

Auf die Reduction der Längentheilungen wurde in geeigneter Weise Rücksicht genommen.

3. Zum Zwecke der beabsichtigten Untersuchung mufsten mindestens zwei *normale Quecksilberthermometer* con-

1) Sie beträgt für den Durchmesser von 22^{mm} nach den Tafeln von Bravais (Pogg. Ann. Bd. 57 S. 579) $0{,}018^{mm}$ für den Maximalwinkel von 45°, was einen Fehler von $0^{\circ},002$ für die Temperaturbestimmung hereinbringt (Vergl. unten den Einflufs des constanten Fehlers).

struirt werden, an welche man die Anforderung stellt, dafs ihre Angaben unter günstigen Verhältnissen mit der Genauigkeit der Ablesung unter sich übereinstimmen. Da es mir nicht möglich war, sehr nahe cylindrische oder rein konische Röhrenstücke von mehr als 200mm bis 300mm Länge zu finden, so mufste jene Genauigkeit auf $\frac{1}{20}$ bis $\frac{1}{30}$ Grad beschränkt werden. Nachdem auf zwei solche ausgewählte Röhren eine willkürliche Theilung (Millimeter) aufgeätzt war, wurde ihr Kaliber und damit zugleich die Theilung in der gewöhnlichen Weise durch successiv eingelassene Quecksilberfäden von verschiedener Länge sorgfältigst untersucht, woraus sich folgende Tabelle von Correcturen ergab.

Therm. I.	
Theilstrich	Correctur.
35	+ 0,05
70	+ 0,10
90	+ 0,05
120	0
140	— 0,05
175	— 0,10
210	— 0,10
280	— 0,05
290	— 0,10
300	— 0,15
310	— 0,20
320	— 0,25
325	— 0,30.

Therm. II.	
Theilstrich	Correctur.
150	0
194	+ 0,10
240	+ 0,20
250	+ 0,32

Th. I ist auf mittleres Kaliber zwischen 0 und 280,

Th. II auf das gleichförmige Kaliber zwischen 0 und 150 reducirt.

Da das Intervall von 100° C. sich annähernd bei Th. I vom Theilstrich 16 bis 320, bei Th. II von 38 bis 256 erstreckt, so erhebt sich die Correctur wegen ungleichen Kalibers nur bei den höchsten Temperaturen auf 0°,1 C.

Den Thermometerröhren wurden cylindrische Gefäfse von etwa 30mm Länge und 5mm Durchmesser angeblasen, die Thermometer bei der Füllung mit Quecksilber luftleer gemacht und verschlossen, und kurz darauf die Bestimmung der fixen Punkte vorgenommen.

Schon vor der Anfertigung dieser beiden Instrumente waren zwei mehre Jahre alte Thermometer von Fastré in Paris zur Vergleichung mit dem Luftthermometer verwendet worden, welche zwar nur das Intervall von — 15° bis + 50° umfafsten, aber direct in Zehntel Celsius'scher Grade getheilt waren und mehre Monate lang die gröfste Beharrlichkeit des Nullpunktes gezeigt hatten. Beide Instrumente weichen in der Nähe von 50° um 0°,2 von einander ab, sie wurden daher miteinander verglichen und eine Tabelle entworfen, welche die Angaben des einen auf die des andern Thermometers reducirt. Es war dann nichts übrig, als später eines von beiden noch an mehreren Stellen mit den Normalthermometern zu vergleichen, sowohl um den wahren Gradwerth der Theilstriche zu bestimmen als die etwa vorkommenden Ungleichheiten des Kalibers zu eliminiren; dann konnten die mit ihnen und dem Luftthermometer vorgenommenen Vergleichungen so angesehen werden, als seyen sie mit den Normalthermometern selbst gemacht. Diese Vergleichung, am 21. Mai 1862 jedesmal bei lange erhaltenem Maximum der Temperatur zwischen dem Therm. I und dem Therm. 1.) von Fastré (das bei 50° um 0°,2 höher steht als No. 2) angestellt, ergab

Therm. I.	Therm. 1.)	Diff. I — 1.)
16°,26	16°,26	0
43 ,75	43 ,85	—0,10
28 ,49	28 ,46	0,03
30 ,77	30 ,77	0

4. Unter den Apparaten ist noch des Wasserbehälters zu gedenken, welcher zur Herstellung constanter Temperaturen verwendet wurde. Ein Kessel von Zinkblech und $1\frac{1}{2}$ Fufs Durchmesser ist in einen zweiten ähnlichen Kessel eingesetzt, so dafs das Wasser des äufseren erwärmt wird.

Wenn die Temperatur nahezu erreicht ist, bei welcher die Vergleichung stattfinden soll, so ist es leicht, die Gasflammen unter dem äufseren Kessel so zu schwächen, dafs die Temperatur Stunden lang innerhalb Schwankungen

von $0^{\circ},1$ erhalten bleibt. Dabei setzt ein *Rührer*, dessen Schaufeln die Gruppe der *vertical* eingelassenen drei Thermometer fast ganz umschliefsen, das Wasser des inneren Gefäfses *fortwährend* so in Bewegung, dafs locale Temperaturdifferenzen sich nicht ausbilden können. Den ganzen Kessel verschliefst ein Deckel, welcher Oeffnungen für Rührer und Thermometer enthält. Die Ablesung an den sorgfältig vertical gestellten Quecksilberthermometern geschieht zur Vermeidung der Parallaxe mittelst eines Fernrohrs.

Eine empfehlenswerthe Vorsichtsmafsregel für die Versuche mit dem Luftthermometer, insbesondere, wenn man durch mehrere Tage fortgesetzte Beobachtungen auf denselben Nullpunkt beziehen will, fand ich darin, dafs man gröfsere Schwankungen der in S schliefsenden Säule durch rechtzeitiges Abschliefsen in H zu vermeiden sucht. Man überzeugt sich nämlich leicht, dafs solche Schwankungen Verrückungen des Nullpunktes (in der Regel Sinken desselben) und sogar Eintritt von Feuchtigkeit aus dem mit der äufseren Luft communicirenden Quecksilber zur Folge haben, wie gut man auch dieses vor den Versuchen mag getrocknet haben. Dieselben Gründe lassen es, wenn man grofse Genauigkeit betont, überhaupt nicht rathsam erscheinen, länger als zwei bis drei Tage zu experimentiren, ohne den Apparat von Neuem mit trockener Luft zu füllen.

Rechnung der Temperaturen des Luftthermometers.

Aus dem vereinigten Mariotte'schen und Gay-Lussac'schen Gesetze

$$Pv = R(1 + dx)$$

leitet man sich leicht die Formel ab zur Berechnung der Temperatur x des Luftthermometers. Bezeichnet nämlich H_0 den auf 0° C. reducirten Barometerstand, h_0 die ebenso reducirte Höhe der Quecksilbersäule über dem Niveau der Spitzen bei der Temperatur 0 des schmelzenden Schnees, t die bei der Nullpunktsbestimmung gerade stattfindende Temperatur der Umgebung, und haben H_x, h_x, t' analoge

Bedeutungen bei Messung der Temperatur x, ist ferner β der cubische Ausdehnungscoëfficient des Glases, α der Ausdehnungscoëfficient der Luft, so ist:

$$(H_0 + h_0)\left(1 + \frac{v_0}{V_0}\frac{1+\beta t}{1+\alpha t}\right) = (H_x + h_x)\left(\frac{1+\beta x}{1+\alpha x} + \frac{v_0}{V_0}\frac{1+\beta t'}{1+\alpha t'}\right).$$

Einflufs der Fehler.

Um die Abhängigkeit der Genauigkeit einer Temperaturbestimmung von den einzelnen Besimmungsstücken zu rechnen, kann man sich einer vereinfachten Formel bedienen:

$$1 + (\alpha - \beta)x = \frac{H_x + h_x}{H_0 + h_0}.$$

1. Der Einflufs des Beobachtungsfehlers in Bestimmung von H_x und h_x ist von der Temperatur nahezu unabhängig, um so geringer, je gröfser $H_0 + h_0$ ist und beträgt bei $H_0 + h_0 = 760^{mm}$ dann $\pm 0^\circ,1$ wenn der Fehler selbst von der Gröfse $\pm 0,27^{mm}$ ist. Ebenso hat der Fehler von $\pm 0,27^{mm}$ in der Nullpunktsbestimmung $(H^0 + h^0)$ den Einflufs von $\pm 0^\circ,1$.

2. Ein constanter Fehler von der Gröfse $-m$ im Barometerstande (oder in der Niveaubestimmung) vergröfsert den Quotienten rechts nahezu um $\frac{h_x - h_0}{(H_0 + h_0)^2} m$. Dieser Werth ist wieder nahe der Temperatur x proportional, und es wird für $H_0 + h_0 = 760^{mm}$ annähernd

$$\Delta x = 0,0013 \,.\, x \,.\, m,$$

so dafs m ein ganzes Millimeter betragen dürfte, bis Δx bei 100° von der Gröfse $0^\circ,13$ wird. Bei 50° wäre die gemessene Temperatur nur um $0^\circ 06$ zu hoch u. s. f.

3. Der Einflufs eines Fehlers in dem zur Rechnung benutzten Ausdehnungscoëfficienten α der Luft ist

$$\Delta x = -\frac{\Delta\alpha}{\alpha - \beta} x$$

also z. B.

$$-27500\,\Delta\alpha \text{ bei } 100^\circ$$
$$-13750\,\Delta\alpha \text{ » } 50^\circ$$
$$-5500\,\Delta\alpha \text{ » } 20^\circ.$$

Es könnte auffallend erscheinen, dafs hier noch von einer Unsicherheit im Ausdehnungscoëfficienten der Luft die Rede ist, da derselbe doch durch ausgedehnte Versuchsreihen der HH. Magnus [1]) und Regnault [2]) mit einer bis in die 6. Decimale reichenden Uebereinstimmung ($\alpha = 0,003665$) bestimmt scheint. Es wird aber hier nicht zum ersten Male darauf aufmerksam gemacht [3]), dafs diese genaue Uebereinstimmung nur scheinbar ist, da Hr. Magnus, indem er die Temperatur des bei 28 Pariser Zoll siedenden Wassers $= 100^{\circ}$ C. setzt, in der That die 100 Grade der Celsius'schen Scale auf ein kleineres Temperaturintervall bezieht, als Hr. Regnault, der den oberen fixen Punkt dieser Scale in die Temperatur des bei 760^{mm} siedenden Wassers verlegt. Nun sind 28 Zoll nur $757,96^{mm}$ und nach Regnault's Tafeln ist die Temperatur des bei diesem Drucke gesättigten Wasserdampfs um $0^{\circ},08$ tiefer als die Temperatur des Wasserdampfes von 760^{mm} Spannung. Schliefst man sich in der Wahl des Intervalls an Regnault an, so ist $99^{\circ},92$ die Temperatur des Dampfes von 28'' Spannung und demnach die von Hrn. Magnus zwischen 0° und dieser Temperatur beobachtete Spannungszunahme 0,366508 noch durch 99,91 zu dividiren wodurch man 0,0036679 für den Ausdehnungscoëfficienten erhält [4]).

1) Sämmtliche Versuche Regnault's hierüber sind im 21. Bande der Memoiren der Pariser Akademie von 1847 zusammengestellt, die ersten schon 1842 in den *Annales de chimie et de phys.* veröffentlicht.

2) Pogg. Annalen Bd. 55, 1842.

3) Hr. Magnus selbst giebt die einschlägige Reduction S. 25 des 55. Bandes von Pogg. Annalen.

4) Es mufs hier bemerkt werden, dafs Hr. Regnault die nämliche Zahl als Mittel aus 12 Versuchen der 3. Reihe (S. 51 des 21. Bandes) findet, 0,0036650 als Mittel aus 6 Versuchen der 4. Reihe (S. 58 des 21. Bandes). In diesen beiden Versuchsreihen hat Regnault dieselbe Methode wie Rudberg und Magnus angewendet, nach deren Princip auch das hier verwendete Instrument construirt ist. Der Umstand, dafs Hr. Regnault in den beiden ersten Versuchsreihen etwas kleinere Werthe findet, erklärt sich aus einem kleinen, aber bei den dort angewandten Methoden unvermeidlichen Beobachtungsfehler. Denn man wird Quecksilber in einer mit Luft gefüllten Glasröhre nicht aufsteigen

Es bleibt also in der That eine Differenz von 0,000003 zwischen den Mittelwerthen beider Forscher, was, je nachdem man den einen oder andern dieser Coëfficienten benutzt, eine Unsicherheit von 0°,04 bei 50°, von 0°,016 bei 20° .... hereinbringt.

Indessen bemerkt man wohl, dafs Versuche wie die hier vorzulegenden erst dadurch den erforderlichen Grad von Zuverlässigkeit gewinnen, wenn der Ausdehnungscoëfficient der zu jeder Versuchsreihe verwendeten Luft selbstständig bestimmt wird. Denn erstlich wird man dadurch, dafs man bei diesen nicht ganz leichten Versuchen Zahlen findet, welche von den Resultaten erprobter Forscher nicht bedeutend abweichen, mehr Vertrauen in die Güte der Instrumente und die Methode der Messung erwecken als durch jede Beschreibung, und zweitens gewinnt man den nicht unbedeutenden Vortheil, dafs man durch Rechnung der Temperaturen mit dem eigens hierfür bestimmten Ausdehnungscoëfficienten die kleinen Fehler eliminirt, deren Einflufs mit der Temperatur wächst. Hierher gehören kleine Quantitäten untermischten Wasserdampfs, welche trotz aller Sorgfalt im Austrocknen zurückgeblieben oder mit eingedrungen seyn mögen und sich durch Vergröfserung des Ausdehnungscoëfficienten geltend machen werden; constante Fehler im Barometerstande u. A. Würde man z. B. mit Hülfe eines sehr mangelhaften Barometers, welches um 1^{mm} zu tief steht, den Ausdehnungscoëfficienten trockener Luft bestimmen, so müfste man denselben nach No. 2 S. (122) um (0°,13 + 0°,04) 0,003668 : 100 d. i. um 0,0000062 zu grofs finden. Die Temperaturbestimmung bei 50° müfste wegen des Fehlers am Barometer um 0°,065 zu hoch ausfallen, wird aber dadurch, dafs man sie mit dem selbstbe-

lassen können, ohne dafs ein kleiner Theil der Luft zwischen der Glaswand und dem Quecksilber eingeschlossen wird. Dieser Theil geht, wenn man wägt, nur für die Spannung, wenn man calibrirt, auch noch für das Volumen verloren. Es ist also, wenn ich es auch nicht wagen darf, meine Beobachtungen hier mit in die Waagschale zu legen, doch wohl der von Hrn. Magnus für die *Spannungszunahme* zwischen 0° und 100° gegebene Werth wahrscheinlicher.

stimmten (auch zu grofs gefundenen) Ausdehnungscoëfficienten rechnet, wieder um 0°,085 erniedrigt, so dafs nur ein Fehler von — 0°,02 übrig bleibt.

4. Man verdankt es der grofsen Ueberlegenheit des Ausdehnungscoëfficienten der Luft über den des Glases, dafs die Unsicherheit, welche hinsichtlich der Ausdehnung eines einzelnen Gefäfses selbst nach vorausgegangenen Versuchen über die Ausdehnung von Glasgefäfsen aus derselben Glassorte noch übrig bleibt, die Temperaturbestimmung mit dem Luftthermometer kaum um 0°,01 beeinflufst. Bei Berechnung der Temperaturen des Luftthermometers wurde

zwischen	0°	und	30°	....	0,0000260
»	30°	»	60°	....	0,0000265
»	60°	»	100°	....	0,0000271.

als Ausdehnungscoëfficient des Glases in Rechnung gebracht.

5. Dadurch, dafs man die Temperatur, welche ein neben der Röhre S aufgehängtes Thermometer anzeigt, für die Luft im Volumen v_0 in Rechnung bringt, darf man, wenn $\frac{v_0}{V_0} = 0{,}003$, einen Fehler von 3° begehen, bis dadurch die Temperaturbestimmung selbst um 0°,01 falsch wird. Zur Annahme eines solchen Fehlers ist kein Grund vorhanden, wenn man nur nicht versäumt, den Raum, in welchem sich die Spitze befindet, durch einen Schirm vor der Wärme des Bades zu schützen, und die Capillare sehr eng genommen hat.

Nach Allem, was im Vorausgehenden angeführt worden ist, wird man eine Sicherheit von 0°,1 für die aus mehreren Einstellungen resultirende Temperaturbestimmung nicht von vorneherein für illusorisch halten dürfen, wenn man nur die Berechtigung zur Benutzung eines von dem oben erwähnten, nicht weit abweichenden Ausdehnungcoëfficienten der Luft für den speciellen Fall nachgewiesen hat, und die zu messenden Temperaturen lange genug constant erhält, dafs sie sich der gesammten Luftmasse im Ballon V mittheilen können.

Die Versuche selbst sind in drei Abtheilungen gemacht.

Die erste im Februar und April 1862 mit den alten Thermometern von Fastré, die zweite im Juli 1862 mit den kurz vorher construirten Normalthermometern, die dritte mit eben diesen Thermometern im Februar 1863. Von der zweiten Versuchsreihe an bis zum Schlusse wurde der gleiche Glasballon am Luftthermometer benutzt, dessen Ausdehnung zwichen 0° und 100° zahlreichen Versuchen gemäfs, die im hiesigen physikalischen Cabinet mit derselben Glassorte von verschiedenen Beobachtern waren angestellt worden, $100\beta = 0{,}00271$ angenommen ist.

Das Verhältnifs $\frac{v_0}{V_0}$ ergab sich durch Wägung der Zahl 0,003309 gleich, wovon 0,000102 auf die Capillare c trifft. In der ersten Beobachtungsreihe ist ein Glasapparat von der nämlichen Glassorte verwendet worden, dessen Capillare (c) einen ziemlich grofsen Durchmesser hatte, so dafs es nöthig schien, für die Rechnung das Volumen v_0 zu trennen in das Volumen des Raumes mit der Spitze s, welches 0,005416, und das Volumen der Capillare, welches 0,0008546 vom Volumen V_0 betrug. Für jenen Theil wurde die Temperatur der Umgebung, für diesen aber das arithmetische Mittel der Temperaturen in V_0 und der Umgebung in Rechnung gebracht, was insofern annähernd gerechtfertigt schien, als ein Theil der Röhre (etwa $\frac{1}{3}$) wirklich in das Bad miteintauchte, ein anderer über den Kessel hineinreichte, also der von demselben aufsteigenden warmen Luft ausgesetzt war. Ich suchte diese Annahme dadurch zu prüfen, dafs ich unter Voraussetzung derselben den Ausdehnungscoëfficienten der Luft bestimmte. Es ergab sich aus vier Einstellungen auf den Siedepunkt und zwei auf den Nullpunkt bei derselben Füllung im Mittel $\alpha = 0{,}0036701$, was so nahe an den von Hrn. Magnus gefundenen Werth fällt, dafs jene Annahme zulässig schien.

Die folgenden Tafeln geben eine Zusammenstellung der Beobachtungsresultate mit allen Elementen der Rechnung für die Temperaturen des Luftthermometers. Sie bedürfen keiner weiteren Erklärung als vielleicht der Bemerkung,

No. des Versuchs	Reduc. Barometerstand H	Reduc. Höhe über dem Niveau h
	mm	mm
1	717,932	79,912
2	717,950	80,385
3	717,887	80,357
4	717,838	80,257
5	717,465	92,002
6	717,445	92,228
7	717,425	92,228
8	717,379	92,079
9	717,214	104,823
10	717,202	104,873
11	717,164	104,723
12	717,108	106,973
13	717,014	107,198
14	712,281	119,638
15	712,137	122,237
16	712,156	122,537
17	712,121	122,287
18	711,867	132,849
19	711,889	132,849
20	710,233	67,965
21	710,179	68,090
22	710,170	68,115
23	709,985	65,040
24	710,417	63,186
25	710,581	62,512
26	716,279	24,675
27	716,229	24,750
28	714,659	110,150
29	714,659	109,750
30	714,362	46,567
31	714,392	46,542

$\frac{1+\beta t'}{1+\alpha t'}$	Temp. des Luftthermometers T	Temperaturangaben der Quecksilber-Thermometer Th. 1) t	Th. 2)	Differenzen $\frac{t_1+t_2}{2}-T$	
III. Reihe.					
031378	25,59	25,75	25,75	0,16	23. April
»	25,67	25,89	25,87	0,21	
031057	36,41	36,63	36,63	0,22	24. April
031164	36,43	36,64	36,65	0,21	
031057	98,42	—	—	—	

...thermometers ist hier aus dem Siedepunkt
...nungscoëfficient nach Magnus $\alpha = 0,003668$

$\frac{1+\beta t'}{1+\alpha t'}$	Temp. des Luftthermometers T	Th. 1) t	Th. 2)	Differenzen	
VI. Reihe.					
031185	0	0	0	—	28. April
030868	45,48	45,66	45,68	0,19	
»	45,43	45,68	45,70	0,26	
»	45,46	45,66	45,71	0,22	
»	45,53	45,74	45,76	0,22	

...tthermometers ist hier direct in schmelzendem
...hnungscoëfficient nach Magnus $\alpha = 0,003668$

... 1) wurde einmal bei 0°,36, das zweite Mal

...theilung. (Juli 1862.)

V. Reihe.

...es Nullpunkts; an
...der Nullpunkt des
...ch No. 7).

*) Die Beobachtung No. 8 ist durch »ungünstige ...
bezeichnet; sie wurde bei einbrechender Dunkelheit gemacht ...
peratur war abgewartet worden.

Reduc. Höhe über dem Niveau h	Temperatur der Umgebung t'	$\frac{v_0}{V_0} \frac{1+\beta t'}{1+\alpha t'}$	Temp. des Luftthermometers T	Temperaturangaben der Quecksilber-Thermometer Th. I) t	Th. II)	Differenzen $\frac{t_1+t_2}{2} - T$	
mm	°		°	°	°	°	
123,645	8,1	0,0032143	19,19	19,30	19,24	0,08	Zweiter Tag 24. Febr.
145,553	8,4	0,0032109	26,98	27,13	27,16	0,16	
212,626	9,8	0,0031951	50,34	50,50	50,53	0,17	
212,101	»	»	50,17	50,37	50,39	0,21	
212,126	»	»	50,18	50,40	50,39	0,21	
242,841	9,4	0,0031996	61,14	61,36	61,38	0,23	
243,000	9,2	0,0032019	61,19	61,39	61,38	0,19	
67,542	8,9	0,0032053	0	0	—		

Nullpunkt des Th. I wurde in No. 16 ebenda gefunden, wo er
lag.

…binirt man die Beobachtungen 1, 2, 3, 16 zur Berechnung des
…gscoëfficienten der Luft, so erhält man

aus 1 und 2 $\alpha = 0{,}0036689$

aus 2 und 3 $\alpha = 0{,}0036702$

aus 1 und 16 $\alpha = 0{,}0036661$

aus 2 und 16 $\alpha = 0{,}0036674$

Mittel $\alpha = 0{,}0036681$

XI. Reihe.

h	t'	$\frac{v_0}{V_0} \frac{1+\beta t'}{1+\alpha t'}$	T	Th. I	Th. II	Differenzen	
mm	°		°	°	°	°	
345,030	9,1	0,0032030	98,79	—	—	—	25. Febr.
62,925	7,7	0,0032189	0	—	0	—	
237,320	9,8	0,0031951	60,86	61,05	60,99	0,16	
237,670	9,8	»	60,93	61,22	61,13	0,24	
237,245	9,8	»	60,77	60,95	60,90	0,15	
266,438	9,4	0,0031996	71,00	71,17	71,07	0,12	
344,090	6,8	0,0032291	98,835	—	—	—	Zweiter Tag 26. Febr.
				100	100	—	
121,914	7,9	0,0032166	20,99	21,11	21,03	0,08	
202,858	9,2	0,0032019	48,83	49,02	49,05	0,20	
203,000	9,3	0,0032008	48,80	49,02	49,05	0,17	
63,286	8,9	0,0032053	0	0	0	—	

… den Beobachtungen 1, 2, 7, 12 berechnet sich der Ausdehnungs-
… der Luft wie folgt:

aus 1 und 2 $\alpha = 0{,}0036634$

aus 1 und 12 $\alpha = 0{,}0036695$

aus 2 und 7 $\alpha = 0{,}0036669$

aus 7 und 12 $\alpha = 0{,}0036729$

dafs durch die in den Rubriken der Quecksilberthermometer eingetragenen Zeichen 0 und 100 Controlen des Nullpunkts und Siedepunkts angezeigt werden, welche in der bezeichneten Reihenfolge vorgenommen worden sind, und dafs jeder der 9 Beobachtungsreihen, welche mit den fortlaufenden römischen Ziffern bezeichnet sind, eine neue Füllung des Ballons mit Luft vorausging. Auszuschliefsen wäre nur No. 8 der dritten Abtheilung gewesen, welche eilig bei noch steigender Temperatur gemacht wurde, hier der Vollständigkeit wegen eingetragen ist. Sie kann als Beleg dienen, dafs das Luftthermometer die Temperaturen früher annahm als die Quecksilber-Thermometer.

(Hier folgt Tafel I.)

Schon die Beobachtungen in den beiden ersten Abtheilungen schienen aufser Zweifel zu setzen, dafs Abweichungen des Quecksilberthermometers vom Luftthermometer in dem Sinne und von der Gröfse stattfinden, wie sie schon von Regnault beobachtet worden. Indessen waren die Beobachtungsfehler insbesondere in der Abtheilung II, in welcher die erst neu angefertigten Thermometer verglichen worden sind, noch viel zu grofs (Vergl. die Beobachtungen V_3 und VII_3), als dafs man sich dabei hätte beruhigen können. Auch der Ausdehnungscoëfficient der Luft war in beiden Bestimmungen etwas gröfser ausgefallen als die Mittelwerthe von Magnus und Regnault [1]), ein Umstand, welcher der Gröfse seines Einflusses gemäfs zwar das Resultat nur um wenige Hundertel von Graden unsicher machen kann, aber doch als eine Unvollkommenheit anzusehen war, von der man die Arbeit befreien konnte. Es wurde deshalb, nachdem einerseits die neuen Quecksilberthermometer abgelagert, andererseits der Trockenapparat verbessert und die etwas gekrümmte Mefsröhre *NM* des Luftthermometers durch eine gerade ersetzt war, die Ar-

1) Sie liegen übrigens innerhalb der Gränzen der Beobachtungsfehler, da da der höchste Werth, den Regnault findet, 0,0036747, bei Magnus, 0,0036790 ist.

beit nochmals aufgenommen und führte durch die Beobachtungen der Abtheilung III zu Resultaten, womit man die Untersuchung für beendigt halten durfte. Denn erstlich zeigten die Nullpunkte der Quecksilberthermometer bei den Controlen vor und nach den Vergleichungen keine Verrückungen bis nach der endlichen Bestimmung des Siedepunktes; und wären wirklich solche Verrückungen momentan während der Vergleichung selbst vorgekommen, so dafs sich der alte Nullpunkt erst nachher wieder hergestellt hätte, so müssen dieselben, da sie erfahrungsgemäfs bei Temperaturerhöhungen vertical eintauchender Thermometer ausnahmelos als *Depressionen des Nullpunktes* auftreten [1]), die Angaben der Quecksilberthermometer erniedrigt und also dem Luftthermometer näher gebracht haben. Würden daher solche Verrückungen nachtheiligen Einflufs auf die Resultate geübt haben, so müfste man die Abweichungen des Quecksilberthermometers und Luftthermometers in demselben Sinne, wie sie die Beobachtung ergiebt, nur noch *gröfser* annehmen, was aus andern Gründen unzulässig erscheint. Die Angaben der beiden Quecksilberthermometer treffen durchaus so nahe zusammen, dafs die mittlere Abweichung in den Beobachtungen, in welchen die neuen Thermometer verwendet wurden, 0°,043 beträgt [2]). Ferner stimmen in beiden Versuchsreihen der Abtheilung III die für den Ausdehnungscoëfficienten der Luft erhaltenen Mittelwerthe unter sich und mit dem von Magnus gefun-

1) Man findet unten zahlreiche Beobachtungen als Belege für diese Behauptung aufgeführt, für welche auch die Erfahrungen von Egen (Pogg. Annalen Bd. 11, S 353) und Henrici (Pogg Annalen Bd. 50, S. 251) sprechen. J. J. Pierre beobachtete bei *horizontal* eintauchenden Thermometern in dieser Beziehung gar keine Regelmäfsigkeit (*Annales de chim. et de phys. T. VI* 1842).

2) Bei richtiger Schätzung der Zehntel von Millimetern, wurden am Th. I noch 0°,03 am Th. II 0°,05 abgelesen. Selbstverständlich sind dabei die Angaben sowohl der Quecksilberthermometer als des Luftthermometers stets auf *den* Nullpunkt bezogen, dessen Bestimmung der Beobachtungszeit zunächst liegt, und das Intervall der ersteren Thermometer von diesem Nullpunkt und dem zunächst bestimmten Siedepunkt hergenommen. Vergl. den Anhang.

denen auf das Beste überein. Endlich steht unter den 19 Beobachtungen der letzten Abtheilung nur ein Resultat vereinzelt: No. 8 der ersten Reihe, welches dem Beobachtungsjournal gemäfs auszuschliefsen ist. Vergleichungen über 70° wurden vermieden, weil nach den Beobachtungen von Henrici hier schon merkliche Depressionen des Nullpunkts zu fürchten sind, denen ich die Thermometer nicht ohne Noth aussetzen wollte. Die Siedepunktsbestimmung gegen das Ende der neunten Reihe (Abth. III) war zur genauen Ermittelung des Intervalls nothwendig und die unmittelbar folgenden, zwischen Siedpunkts- und Nullpunkts-Bestimmung fallenden Vergleichungen wurden hauptsächlich darum gemacht, dafs von den Folgen

Siedepunkt — Nullpunkt — Messung
Nullpunkt — Messung — Siedepunkt
Siedepunkt — Messung — Nullpunkt

jede in diesen Beobachtungen vertreten sey. Ich kann zwar schon hier bemerken, dafs meinen Erfahrungen gemäfs die zweite Folge dann bei weitem den Vorzug verdient, wenn vor der Bestimmung des Nullpunkts mehrere Tage der Ruhe für die Thermometer (Zimmertemperatur) vorhergegangen sind, werde aber unten bei Gelegenheit der Bestimmung des mittleren Fehlers auf die Kritik dieser Methoden noch eingehender zurückkommen.

Die Temperaturangaben der Quecksilberthermometer sind hier so eingetragen, wie sie der Beobachtung unmittelbar entnommen sind. Sie müssen indessen, ehe man sie weiter und speciell zur Ableitung der scheinbaren Ausdehnung verwendet, noch eine Correctur [1]) erfahren, welche durch einen kleinen Unterschied zwischen dem definirten Grade und dem direct abgelesenen hereingebracht wird. Man nennt den hundertsten Theil des *Volumens Quecksilber*, welches bei der Erwärmung des Thermometers von der Temperatur des schmelzenden Schnees bis zu der Tempe-

1) Diese Correctur hat Hr. Poggendorff im 41. Bande seiner Annalen S. 372 gegeben.

ratur des bei 760^{mm} Druck gesättigten Wasserdampfs über die Marke 0 herausgetreten ist, einen Grad, mifst aber dieses Volumen in einer cylindrischen Röhre, welche selbst die Temperatur hat, die bestimmt werden soll. Sie ist also nicht immer gleich weit, und es ist deutlich, dafs sie wenn der Quecksilberfaden bei 50° steht, nicht gerade die Hälfte des Quecksilbers fafst, welches sie bei 100° enthalten hat, sondern weniger, so dafs das Einstehen des Fadens auf 50° nicht die oben definirten 50 Grade anzeigt, sondern eine etwas tiefere Temperatur, die man allgemein erhält, wenn man die Anzahl der abgelesenen Grade t mit dem Factor $\frac{1+\beta t}{1+\beta 100}$ multiplicirt, worin β den cubischen Ausdehnungscoëfficienten des Glases bezeichnet. Statt dieses Factors läfst sich mit hinreichender Annäherung der Subtrahend

$$\beta(100-t)t$$

setzen, der an der abgelesenen Temperatur t zur Reduction auf die definitive Temperatur (des Quecksilberthermometers) anzubringen ist.

Es läfst sich leicht nachweisen, dafs die eben erwähnte Correctur auch an die durch Gewichtsthermometer angezeigten Temperaturen anzubringen ist, wenn man letztere nach den von den HH. Magnus und Regnault angewandten abgekürzten Formeln gerechnet hat. Da diese Correctur bei 300° schon sehr nahe 2° beträgt, darf sie nicht vernachlässigt werden.

Wenn man nun die zwischen den Angaben des Quecksilberthermometers und Luftthermometers beobachteten Differenzen als Ordinaten zu den entsprechenden Temperaturen des Luftthermometers aufträgt, und der durch sie bestimmten Linie zur Elimination der zufälligen Beobachtungsfehler einen mittleren Curvenzug substituirt, so gewinnt man folgende

Reductionstafel der Temperaturangaben des Quecksilberthermometers auf die des Luftthermometers.

Temperaturangabe des Luftthermometers	Temperaturangabe des Quecksilberthermometers	
	Corrigirte Ablesung	Directe Ablesung
10°	10°,06	10°,08
20	20 ,10	20 ,14
30	30 ,13	30 ,18
40	40 ,14	40 ,20
50	50 ,13	50 ,20
60	60 ,12	60 ,18
70	70 ,09	70 ,14
80	80 ,06	80 ,10
90	90 ,03	90 ,05
100	100 ,00	100 ,00

Ableitung des mittleren Beobachtungsfehlers.

Hiernach ergeben sich die Beobachtungsfehler in Hunderteln von Graden in der Reihenfolge der Beobachtungen aufgeführt:

I. Abtheilung. $R-B$		II. Abtheilung. $R-B$	III. Abtheilung. $R-B$
− 4	0	− 2	+ 3
+ 2	− 1	− 19	+ 5
− 2	− 1	− 15	− 2
+ 1	− 8	− 3	− 5
− 1	− 5	+ 6	+ 5
+ 3	− 4	+ 6	+ 1
+ 2	− 5	− 12	+ 3
+ 2	− 2		− 1
+ 1	+ 1		− 1
+ 3	+ 1		− 5
+ 5	+ 4		− 1
+ 3	+ 6		+ 2
+ 2	0		− 6
+ 1	+ 5		+ 3
− 1	− 3		+ 2
+ 5	− 2		+ 6
0	+ 1		0
− 5	− 6		+ 3
− 8	− 2		
	− 2		

Die Fehler der dritten Abtheilung, deren Beobachtungen nach vorausgegangener langer Ruhe der Thermometer so angestellt wurden, dafs die zur genauen Ermittelung des Intervalls nöthige Siedepunktsbestimmung an das Ende der Vergleichungen verlegt wurde, übertreffen um nichts die der ersten Abtheilung, in welcher mehre Jahre alte Thermometer von unveränderlichem Nullpunkte nur bis zu Temperaturen von 45° benutzt worden sind. Hingegen geben die starken Differenzen der II. Abtheilung ein abschreckendes Beispiel gegen die dort angewandte Methode. Die Normalthermometer sind hier bald nach ihrer Anfertigung verglichen, in welche Zeit bekanntlich ohnediefs die bedeutendsten Verrückungen des Nullpunkts fallen. Dazu kommt, dafs häufige Siedepunktsbestimmungen zwischen die Vergleichungen eingeschoben wurden, welche jedesmal eine momentane Erniedrigung bewirken. (Vergl. den Anhang), so dafs die Temperaturmessung stets in die Zeit der Hebung des Nullpunktes und folglich zu hoch ausfällt, wenn sie auf einen vor der Messung und nach dem Siedepunkt bestimmten Nullpunkt bezogen wird; zu tief hingegen, wenn der Nullpunkt erst *nach* der Messung bestimmt wird. Man wird also beide Methoden, sowohl die Folge:

Siedepunkt - Nullpunkt - Beobachtung,

welche von Henrici vorgeschlagen ist, als die zweite

Siedepunkt - Beobachtung - Nullpunkt

vermeiden, und vielmehr die Siedepunkts - Controle erst *nach* der Messung selbst vornehmen. Findet man vor und nach der Messung den Nullpunkt an derselben Stelle, während man die gemessene Temperatur selbst mittelst des durch die *folgende* Siedepunktsbestimmung ermittelten Intervalls rechnet, so wird man jeden Grund des Zweifels in eine normale Temperaturbestimmung vermieden haben. Die Erfüllung der ersteren von beiden Bedingungen wird man aber nur dann mit einiger Zuversicht erwarten können, wenn man die Thermometer vorher längere Zeit höheren Temperaturen als etwa 50° nicht ausgesetzt hat, und zugleich die gemessene Temperatur selbst nicht weit über

dieser Gränze liegt. Was das Letztere betrifft, so wird wohl die Individualität des benutzten Thermometers entscheiden, denn es zeigten z. B. die Thermometer I. und II. nach Temperaturerhöhungen bis zu 61° keine Depression des Nullpunkts, während Henrici in diesem Falle eine solche im Betrage von 0°,1 an seinem Thermometer bemerkt hat.

Da man die grofsen Fehler der II. Abtheilung einer ungeschickten Behandlung der Quecksilberthermometer zuschreiben mufs, so wird man, um ein genähertes Maafs für die Sicherheit einer Temperaturbestimmung mit Prof. Jolly's Construction des Luftthermometers zu erhalten, nur die 57 Beobachtungen der I. und III. Abtheilung zur Ableitung des *mittleren Fehlers* benutzen. Dieser berechnet sich als Quadratwurzel aus der durch die Anzahl der Beobachtungen [1]) dividirten Quadratsumme der Fehler zu 0°,035 und daraus ergiebt sich

0°,023

als *wahrscheinlicher Fehler* einer Beobachtung. Von den 57 beobachteten Fehlern fallen 30 zwischen 0 und den wahrscheinlichen Fehler (soll die Hälfte), 41 bis 51 (je nachdem man 0,05 mitrechnet oder nicht) zwischen 0 und das Doppelte dieses Fehlers (soll 46) und der dreifache Betrag desselben wird nur zweimal überschritten, so dafs den Anforderungen der Wahrscheinlichkeitsrechnung vorzüglich genügt ist.

Verbesserte Tafeln für die Ausdehnungscoëfficienten des ordinären Glases und des Quecksilbers.

Es ist schon oben erwähnt worden, dafs die aus Regnaults Tafeln berechneten Temperaturangaben des Quecksilberthermometers, wie sie den einzelnen Scalenpunkten des Luftthermometers entsprechen sollen, von den Resultaten seiner Vergleichungen zwischen 0° und 100°, mit welchen auch die von mir gewonnenen nahe übereinstim-

1) Es wird hier der Einfachheit wegen allen diesen 57 Beobachtungen das gleiche Gewicht beigelegt, obwohl denen der dritten Abtheilung offenbar die gröfste Zuverlässigkeit zukommt.

men, nicht unerheblich abweichen. Diefs ist in noch höherem Grade über 100 der Fall[1]). Es ist also eine Revision dieser Tafeln geboten.

Versteht man unter t die corrigirte Ablesung am Quecksilberthermometer, unter q_0 das Volumen irgend einer Masse Quecksilber bei 0° und den cubischen Inhalt des dasselbe umschliefsenden Glases, unter q_t und Q das Volumen des Quecksilbers beziehungsweise bei t^0 und 100°, unter v_t und V den cubischen Inhalt des Glases bei t^0 und 100°, so ist

$$t = 100 \frac{q_t - v_t}{Q - V}.$$

Aus dieser Gleichung läfst sich $q_t - v_t$ als aliquoter Theil der Differenz $Q - V$ rechnen, welche man durch einen leichten dilatometrischen Versuch erhält, und aus den Vergleichungen beider Thermometer kennt man jene Temperatur des Luftthermometers, zu welcher die Volumina q_t des Quecksilbers und v_t des Glases gehören, deren Differenz man gefunden hat. Kennt man dazu noch die absolute Ausdehnung des einen von beiden Körpern, des Quecksilbers $(q_t - q_0)$ oder des Glases $(v_t - q_0)$, so läfst sich die des andern aus den bekannten Werthen der Differenz $q_t - v_t$ berechnen, welche man scheinbare Ausdehnung des Quecksilbers im Glase nennen kann. Hr. Regnault hat nun auch Versuche über die absolute Ausdehnung des Quecksilbers gemacht, aus denen man entnimmt, dafs das Volumen (q_t) des Quecksilbers, wenn es bei 0° C. ... 1 ist, bei 100° C. ... 1,018153, bei 200° C. ... 1,036810 ist. Die scheinbare Ausdehnung $(q_t - v_t)$ des Quecksilbers im ordinären Glase ist zwischen 0° und 100° nach Regnault .... 0,015392, zwischen 0° und 200° nach dessen thermometrischen Versuchen 0,030827. Folglich ist 1,002761 das Volumen des ordinären Glases bei 100°, 1,005984 bei 200°, wenn es bei 0° C ... 1 ist.

Man sieht aus den letzten beiden Werthen, dafs der Ausdehnungscoëfficient des ordinären Glases nicht constant

1) Die Differenz beträgt 0°,50 bei 150°, 1°,09 bei 200°, 1°,38 bei 250°, 1°,17 bei 300°.

ist, sondern mit der Temperatur wächst. Setzt man daher in der einfachsten Form

$$\beta = a + bt$$

und bestimmt die Constanten a und b aus den angeführten Versuchsresultaten, so erhält man

$$100\beta = 0{,}002531 + 0{,}0000023\,t.$$

Benutzt man diese Formel zur Herstellung der Glasvolumina (v_t) und verbindet damit die Resultate der thermometrischen Versuche, so läfst sich der Gang des Quecksilber-Ausdehnungscoëfficienten zwischen 0° und 200° ermitteln. Das so Gewonnene ist in folgender Tafel zusammengestellt.

Tafel für die Ausdehnung des ordinären Glases und des Quecksilbers zwischen 0° und 200°.

Temperatur des Luftthermometers T	Mittlerer Ausdehnungscoëfficient des Glases β	Mittlerer Ausdehnungscoëfficient des Quecksilbers γ	Differenzen von γ
10°	0,00002554	0,00018038	
20	0,00002577	0,00018047	9
30	0,00002600	0,00018057	10
40	0,00002623	0,00018068	11
50	0,00002646	0,00018079	11
60	0,00002669	0,00018091	12
70	0,00002692	0,00018104	13
80	0,00002715	0,00018119	15
90	0,00002738	0,00018135	16
100	0,00002761	0,00018153	18
110	0,00002784	0,00018174	21
120	0,00002807	0,00018198	24
130	0,00002830	0,00018222	24
140	0,00002853	0,00018246	24
150	0,00002877	0,00018270	24
160	0,00002900	0,00018295	25
170	0,00002923	0,00018321	26
180	0,00002946	0,00018348	27
190	0,00002969	0,00018376	28
200	0,00002992	0,00018405	29

Die in dieser Tafel verzeichneten Werthe von β und γ stellen die thermometrischen Versuche Regnault's und meine eigenen vollkommen dar und schliefsen sich zugleich

besser an Regnault's Versuche über die absolute Ausdehnung des Quecksilbers an, als die von ihm gegebene empirische Formel und die nach derselben berechnete Tafel; aufserdem hat der hier hervortretende Gang der Werthe von γ die Analogie der übrigen Flüssigkeiten für sich.

Versucht man diese Tafel über 200° hinaus auszudehnen, so kommt man, wenn man nicht das sonderbare Zugeständnifs machen will, dafs der Ausdehnungscoëfficient des Glases von da an langsamer zunehme und endlich gar abnehme, mit den Versuchsresultaten Regnault's in Collision, und die Differenz beträgt mehre Grade. Man kann also nicht sagen, dafs die wichtige Frage nach der Ausdehnung des Quecksilbers und des ordinären Glases über 200° hinaus schon in befriegender Weise gelöst sey. (Eine ausführlichere Kritik findet man in der vollständigen Abhandlung).

Anhang.

Es ist noch übrig, theilweise als Beleg für das im Vorausgehenden Behauptete die zahlreichen Bestimmungen der fixen Punkte an den Quecksilberthermometern hier einzutragen, welche ich vom Mai 1862 bis Februar 1863 vorgenommen habe, theils, um in einem speciellen Falle die Lage jener Punkte zu kennen, theils auch um Anhaltspunkte für den Grund und die Art ihrer Veränderlichkeit zu gewinnen. Im Allgemeinen werden dadurch die schon oben citirten Beobachtungen von Egen durchaus bestätigt. Die erste Spalte der folgenden Tafel enthält die Ordnungszahl des Versuchs, die zweite die Zeit der Bestimmung, die dritte jene Marke der (willkührlichen) Scale, bei welcher der Quecksilberfaden im schmelzenden Eise endigte, die vierte die Lage des Siedepunktes, die fünfte die zugehörige aus dem Barometerstande und Regnault's Tabellen für die Temperatur des gesättigten Wasserdampfes entnommenen Temperatur, die sechste endlich die daraus abgeleitete auf den zunächst bestimmten Nullpunkt bezogene Lage

des Punktes 100 der Celsius'schen Scale, womit zugleich der Werth des Intervalls von 100 Graden gegeben ist.

Zusammenstellung der Nullpunkts- und Siedepunktsbestimmungen.

Th. I.

No.	Zeit	Null-punkt	Siede-punkt	Tempe-ratur	Punkt 100° C.
1	16. Mai 1862 Vorm.	—	312,10	98,26°	317,35
2	» Nachm.	15,55	—	—	
3	17. Mai	15,95	—	—	317,53
4	»	—	312,80	98,43	
5	18. Mai 10h	16,05	—	—	317,39
6	» 10h 33'	—	312,60	98,41	317,35
7	» 11h 50'	15,65	—	—	
8	» 4h	15,85	—	—	
9	19. Mai 11h	16,05	—	—	
10	» 3h	16,05	—	—	
11	21. Mai 11h	16,05	—	—	
12	23. Mai 4h	16,25	—	—	317,54
13	» 4h 30'	—	312,60	98,36	317,55
14	» 5h	15,44	—	—	
15	24. Mai 2h	15,95	—	—	
16	25. Mai Vorm.	16,35	—	—	317,62
17	»	—	312,80	98,40	317,63
18	»	15,80	—	—	
19	» 3h	—	312,48	98,34	317,49
20	26. Mai Nachm.	16,10	—	—	
21	27. Mai	16,15	—	—	
22	3. Juni	16,45	—	—	
23	25. Juni	16,65	—	—	317,52
24	»	—	312,50	98,33	317,54
25	»	15,75	—	—	
26	26. Juni	16,15	—	—	317,54
27		—	312,60	98,36	
28	27. Juni	16,05	—	—	317,53
29		—	311,80	98,10	
30	29. Juni	16,25	—	—	
31	30. Juni	—	312,5	98,31	317,60
32	»	15,75	—	—	
33	2. Juli	16,25	—	—	317,47
34	»	—	312,65	98,40	
35	3. Juli	16,15	—	—	317,58
36	4. Juli	—	312,55	98,33	
37	23. Febr. 1863	16,35	—	—	
38	24. Febr.	16,35	—	—	
39	26. Febr.	—	314,18	98,84	317,68
40	»	16,20	—	—	

Th. II.

No.	Zeit	Null-punkt	Siede-punkt	Tempe-ratur	Punkt 100° C.
1	25. Juni	38,25	—	—	256,16
2	»	—	252,52	98,33	
3	26. Juni	38,05	—	—	256,15
4	»	—	252,57	98,36	
5	27. Juni	38,0	—	—	256,47
6	»	—	252,32	98,10	
7	29. Juni	38,15	—	—	
8	30. Juni	—	252,74	98,31	256,43
9	»	38,0	—	—	
10	2. Juli	38,17	—	—	256,33
11	»	—	252,84	98,40	
12	3. Juli	38,15	—	—	256,31
13	4. Juli	—	252,67	98,33	
14	5. Juli	38,25	—	—	256,24
15	»	—	252,32	98,20	
16	6. Juli	38,1	—	—	
17	7. Juli	38,3	—	—	
18	23. Febr. 1863	38,65	—	—	
19	25. Febr.	38,65	—	—	256,12
20	26. Febr.	—	253,6	98,84	256,13
21	»	38,0	—	—	

Th. III.

No.	Zeit	Null-punkt	Siede-punkt	Tempe-ratur	Punkt 100° C.
1	24. Mai 1862	27,4	—	—	325,66
2	»	—	320,8	98,37	
3 u. 4	25. Mai	27,6	320,85	98,38	325,68
5	26. Mai	27,8	—	—	
6	27. Mai	27,8	—	—	325,78
7	»	—	320,8	98,33	
8	3. Juni	28,15	—	—	

Vergleicht man am Therm. I. die Lage des Nullpunkts und des Punktes 100 vom 18., 19., 21. Mai 1862 mit der Lage beider Punkte am 23. bis 26. Febr. 1863, so sieht man, dafs sich *beide* in dieser Zeit um nahe dieselbe Gröfse von 0,3 Scalentheilen gehoben haben, was einem Zehntel eines Grades entspricht, so dafs die Gröfse des Intervalls hier erhalten blieb. Nicht so am Therm. II., wo der Punkt 100 schliefslich an der nämlichen Stelle war, wie vorher, obgleich sich der Nullpunkt um 0°,2 gehoben hatte. Man wird also sagen, dafs je nach der Individualität des Reser-

voirs die Volumen- oder Gestaltänderung, welche der äufsere Luftdruck im Laufe der Zeit hervorgebracht hat, erhalten bleibt, oder durch den mit der Wärme zusammenwirkenden Gegendruck der (beispielsweise bei einer Siedepunktsbestimmung) gehobenen Quecksilbersäule aufgehoben werden kann, um dann von neuem allmählich wieder Platz zu greifen. Im ersten Falle hat sich die Gleichgewichtslage des Nullpunkts verändert, während sie im zweiten Falle erhalten blieb.

Eine Erscheinung für sich bilden neben diesen sehr langsam im Laufe von Jahren vor sich gehenden Hebungen des Nullpunkts, diejenigen oscillations-artigen Verrückungen, welche man an den vertical eintauchenden Thermometern als Folge einzelner starker Temperaturerhöhungen wahrnimmt. So oft der Nullpunkt unmittelbar nach dem Siedepunkte untersucht wurde, zeigte sich, dafs er gesunken war, und ebenso deutlich sieht man, dafs er sofort wieder den Weg in seine frühere Lage einschlägt, um diese dann zu überschreiten. Besonders instructiv hierfür sind die Beobachtungen 5 bis 10 und 12 bis 16 am Therm. I. Im Allgemeinen bemerkt man, dafs die alte Lage in etwa 24 Stunden weiter erreicht ist, doch verhalten sich dabei die verschiedenen Thermometer verschieden, ja dasselbe nicht immer gleich. Man wird sich also hüten, mit einer Messung in diese Oscillationen des Nullpunkts zu gerathen, da sie jede Sicherheit über den gegenwärtigen Stand desselben ausschliefsen, während die allmählige Hebung des Nullpunkts wegen ihres langsamen Fortschreitens nicht als Quelle der Unsicherheit zu betrachten ist, wenn man nur die Vorsicht gebraucht, den Nullpunkt vor der Beobachtung zu controliren.

Da die hier bemerkten regelmäfsigen Depressionen bei horizontal eintauchenden Thermometern nicht beobachtet werden, sondern vielmehr die gröfste Unregelmäfsigkeit (Vgl. die cit. Abh. von J. J. Pierre), so ist wohl der Druck der aufsteigenden Quecksilbersäule theilweise für die Ursache der Ausweitung zu halten, nach dessen Besei-

tigung das Glas durch den combinirten Einflufs der Elasticität und des äufseren Luftdruckes allmählig wieder auf ein kleineres Volumen zurückgeführt wird. Daneben ist die Ansicht begründet, dafs für Glas noch weit vom Schmelzpunkt entfernt eine Art von Elasticitätsgränze bezüglich der Ausdehnungen durch die Wärme existirt, nach deren Ueberschreitung das frühere Volumen durch Temperaturerniedrigung allein nicht wieder hergestellt wird.

VI. *Ueber das Kreuz, das gewisse organische Körper im polarisirten Lichte zeigen, und über die Haidinger'schen Farbenbüschel;* *von Victor von Lang.*

Es ist allgemein bekannt, dafs gewisse Körper, die dem Pflanzen- oder Thierorganismus ihre Entstehung verdanken, eine kreuzförmige Interferenz-Erscheinung zeigen, wenn man dieselben zwischen zwei linear-polarisirende Vorrichtungen bringt. Solche Körper sind die Stärkemehlkörner, die Krystalllinsen der Augen, gewisse Hornarten, aus denen man natürlich erst durchsichtige Platten zu schleifen hat, u. a. m. Wenn ich hier die Entstehung dieser Erscheinung in Betracht ziehe, so glaube ich zwar nicht etwas ganz neues, aber doch nichts überflüssiges zu sagen, da selbst ausgezeichnete Forscher in ihren Werken sich bei diesem Gegenstande mit einer ziemlich unbestimmten Ausdrucksweise begnügen. Auch hängt diese Erscheinung nach meiner später zu entwickelnden Hypothese innig zusammen mit dem Phänomen, das wir als Haidinger'sche Farbenbüschel bezeichnen.

Wir wollen daher auch von den angeführten Körpern gleich an die Krystalllinse unsere Bemerkungen anknüpfen

und ihr Verhalten zwischen einem gekreuzten Polarisirer und Analysirer betrachten. Die Krystalllinse besteht aus Fasern, welche im Allgemeinen um die Axe der Linse so angeordnet sind, dafs sie von dieser Axe radial nach dem Rande der Linse verlaufen. Diese Fasern sind bekanntlich doppeltbrechend, und zwar sind für die zwei senkrecht zur Längsrichtung derselben hindurchgehenden Lichtstrahlen die Polarisationsebenen beziehungsweise parallel und senkrecht zu der Längsaxe. Betrachtet man daher eine Krystallinse im polarisirten Lichte, so dafs dasselbe parallel der Axe durch die Linse geht, so wird jeder Radius der Linse sich doppeltbrechend erweisen, und zwar für den betrachteten Radius die eine Polarisationsebene durch die Axe der Linse gehen, die andere Polarisationsebene wird aber natürlich senkrecht zur ersteren seyn. Fig. 8 Taf. I giebt ein beiläufiges Bild der Polarisationsverhältnisse der einzelnen Radien der Linse; die Schenkel der kleinen Kreuze bedeuten eben die Richtung der Polarisationsebenen der zwei von dem betreffenden Radius der Linse hindurchgelassenen Lichtstrahlen.

Bringt man nun die Linse zwischen zwei gekreuzte linear polarisirende Vorrichtungen, deren Polarisationsebene parallel der Linsenaxe und den Linien AA' und PP' Fig. 8 seyen, so werden, wenn man durch den ganzen Apparat hindurchsieht alle jene Radien der Linse dunkel erscheinen müssen, deren Polarisationsebenen mit denen des Analysirers und Polarisirers zusammenfallen; die dazwischen liegende Radien aber werden desto heller werden, je mehr sie sich von den ganz dunkeln Radien entfernen. Die ganze Erscheinung wird also die Form eines schwarzen Kreuzes auf lichtem Grunde haben, wie es in der Figur durch die Schraffirung angedeutet ist; der Mittelpunkt des Kreuzes mufs in die Axe der Linse fallen und die Schenkel desselben müssen parallel den Linien AA' und PP', d. h. parallel den Polarisationsebenen des Analysirers und Polarisirers seyn.

Aus dem Gesagten geht aber hervor, dafs die Ursache

des Kreuzes, welches wir an der Krystalllinse und ähnlichen Körpern im polarisirten Lichte wahrnehmen, wesentlich verschieden ist von dem Grunde, aus welchem Platten einaxiger Krystalle senkrecht zur optischen Axe geschnitten, eine ähnliche Erscheinung zeigen. Denn betrachtet man solche Krystallplatten im parallelen Lichte zwischen gekreuzten Polarisirer und Analysirer, so erscheint die ganze Platte dunkel und wir nehmen nur, wenn wir einen polarisirten Lichtkegel durch die Platten gehen lassen, ein Kreuz wahr, dessen Mittelpunkt dann immer in die Axe des Lichtkegels fällt, so dafs eine Verschiebung der Krystallplatte ohne Einflufs ist auf den Ort, an welchem wir das Kreuz sehen. Bei der Krystalllinse jedoch und anderen Körpern mit ähnlichen Structurverhältnissen nehmen wir das Kreuz im parallelen Lichte wahr, und mit der Verschiebung des Objectes wird auch das Kreuz verschoben. Der Umstand, dafs wir die letztere Erscheinung im parallelen Lichte am besten sehen, macht es auch, dafs wenn wir die Krystalllinse ohne weitere Vorrichtung mit Hülfe eines Analysirers und Polarisirers betrachten, wir das Kreuz nicht sehr deutlich und nur in der Mitte wahrnehmen, indem durch die Gestalt der Linse die parallel auffallenden Lichtstrahlen convergent gemacht werden. Es ist daher gut bei Anstellung dieses Versuches die Gestalt der Linse entweder durch Concavlinsen oder dadurch zu compensiren, dafs man die Krystalllinse mittelst des Glaskörpers zwischen zwei Glasplatten bringt.

Ich habe die im Vorhergehenden besprochene Erscheinung auch künstlich nachgeahmt, was mir durch die Freundlichkeit des Prof. Dr. Rollett ermöglicht wurde, der den dazu nöthigen Apparat für das physikalische Institut der hiesigen Universität ausführen liefs. Hierfür und für die ebenso bereitwillige Unterstützung mit seinem Rathe bin ich meinem Freunde und Collegen zu grofsem Danke verpflichtet. Der Apparat besteht aus einem hohlen Messingcylinder, welcher mit Hülfe eines gröfseren hölzernen Rades und eines Schnurlaufes in rasche Rotation versetzt wer-

den kann. Die lichte Weite des Messingcylinders betrug ungefähr 19 Millim., hineinpafsten eine Glasscheibe und zwei dünnwandige hohle Holzcylinder, welche die Glasscheibe in einer zur Drehungsaxe senkrechten Lage festhalten. Auf die eine Seite der Scheibe wurde mit Glasleim eine doppeltbrechende Krystallplatte geklebt, während man die andere Seite mit schwarzem Papier belegte, aus welchem zwei Sectoren herausgeschnitten wurden, so zwar, dafs die Halbirungslinie derselben parallel war mit einer Polarisationsebene des senkrecht durch die Krystallplatte gehenden Lichtes, wie diefs in Fig. 9 Taf. I dargestellt ist. Zur Reinheit des Versuches ist es nöthig, dafs die Sectoren scharf ausgeschnitten sind und ihre Spitzen möglichst genau in den Mittelpunkt der Glasscheibe fallen. Bringt man nun vor und hinter der Scheibe ein feststehendes Nicol'sches Prisma an, und sieht durch dieselben auf eine gleichförmig erleuchtete Fläche, z. B. eine mit Strohpapier beklebte Fensterscheibe, so sieht man bei gekreuzten Prismen und rotirender Krystallplatte auf hellem Grunde concentrisch mit der Drehungsaxe ein schwarzes Kreuz, dessen Schenkel parallel den Polarisationsebenen der Nicol'schen Prismen sind.

Zur Erklärung dieses Versuches ist nach dem Vorhergesagten nichts hinzuzufügen, durch das Drehen der so vorgerichteten Glasscheibe wird eben eine radiale Anordnung doppeltbrechender Substanz nachgeahmt, wie wir sie in der Natur an der Krystalllinse antreffen.

Ich habe den Versuch mit den verschiedensten Krystallen mit gleichem Erfolge angestellt, das nächstliegendste dürfte in den meisten Fällen ein nicht allzu dünnes Glimmerblättchen seyn.

Ich komme nun zu dem Haidinger'schen Farbenbüschel, welches Phänomen, wie ich glaube, ebenfalls der Krystalllinse seine Entstehung verdankt. Ich nahm nämlich an, dafs die einzelnen Fasern der Linse nicht nur doppeltbrechend, sondern auch dichromatisch sind, und zwar mufs der Strahl, welcher parallel der Längsrichtung der Fasern po-

larisirt ist gelblich, der andere senkrecht dazu aber bläulich gefärbt seyn. Diese Hypothese hat nichts besonders Unwahrscheinliches an sich, denn dafs ein doppeltbrechender Körper auch dichromatisch sey, ist als der allgemeinere Fall auch der von vornherein wahrscheinlichere.

Fig. 10 Taf. I giebt nun für die einzelnen Radien der Krystalllinse die Polarisationsebenen der zwei quer hindurchgehenden Lichtstrahlen, aber auch zugleich die Färbung, welche nach der eben ausgesprochenen Hypothese die beiden Strahlen haben müssen, indem die längeren Striche der einzelnen Kreuze die gelbliche Färbung des parallel dazu polarisirten Lichtstrahles bedeuten, der senkrecht dazu polarisirte Strahl ist dann der bläulich gefärbte. Geht nun Licht durch die Linse parallel ihrer Axe, und wird deshalb entweder vor der Linse oder nach derselben linear parallel der Linie AA' polarisirt, so werden die Radien der Linse, welche nahezu parallel AA' sind, gelblich gefärbt erscheinen müssen, indem für diese Radien der Strahl, welcher durch die Linse bläulich gefärbt wird, nicht durch die polarisirende Vorrichtung hindurchgehen kann. Aus gleichem Grunde werden aber die Radien senkrecht zur Linie AA' bläulich gefärbt seyn müssen; dazwischen liegende Radien werden auch intermediäre Farben zeigen. Fig. 10 giebt durch die verschiedene Schraffirung ein beiläufiges Bild dieser Erscheinung, wie sie sich unter den gemachten Voraussetzungen darstellen mufs; die nach der Länge schraffirten Sectoren haben eine gelbliche, die quergestreiften eine bläuliche Färbung. Wir erhalten also wie früher ein Kreuz, das concentrisch mit der Linse ist, und dessen Arme respective parallel und senkrecht zur Polarisationsebene der polarisirenden Vorrichtung sind, nur sind jetzt zwei Arme gelblich, die beiden andern bläulich gefärbt. Ob nun zufolge der gemachten Hypothese der Uebergang von den gelben zu den blauen Sectoren rasch stattfindet oder nur sehr allmählich, darüber kann auch die Rechnung keinen Aufschlufs geben, indem Versuche über die Abhängigkeit der Absorption von der Amplitude mangeln. Die

nachher zu beschreibenden Versuche sprechen jedoch für einen ziemlich raschen Uebergang; diefs stände in Uebereinstimmung mit den Farbenbüscheln, bei denen wir zwischen den gelben und blauen Sectoren kein dazwischenliegendes Weifs wahrnehmen können; doch mögen bei letzterer Erscheinung auch subjective Momente mitspielen, da wir dieselben nur wahrnehmen, wenn die Polarisationsebene des auf unser Auge fallenden Lichtes beständig ihr Azimut ändert.

Durch den Umstand, dafs die Krystalllinse eben eine linsenförmige Gestalt hat, müssen die polarisirten Lichtstrahlen desto mehr gefärbt erscheinen, je näher sie der Axe der Linse hindurchgehen, indem sie eben alsdann mehr absorbirte Theilchen zu durchsetzen haben. Die in Fig. 10 Taf. I dargestellte Erscheinung mufs sich daher an der Mitte der Linse am intensivsten zeigen, und gegen den Rand derselben allmählich unbemerkbar werden.

Auch die Erscheinung der Farbenbüschel habe ich mit Hülfe des früher beschriebenen Rotationsapparates nachgeahmt, indem ich auf die wie früher vorgerichtete Glasscheibe eine dichromatische Krystallplatte befestigte, so dafs wieder eine Polarisationsebene derselben mit der Axe der beiden Ausschnitte zusammenfiel. Nennen wir P den Farbenton des durch die Krystallplatte gehenden Lichtes, wenn es parallel der Axe der Sectoren polarisirt ist, S die Farbe der senkrecht dazu polarisirten Strahlen, so wird man, wenn die Glasscheibe mit dem Krystalle rotirt und dieselbe mit Hülfe eines Nicol'schen Prisma betrachtet wird, in der Polarisationsebene des Prisma zwei Sectoren von der Farbe P und senkrecht dazu zwei mit der Farbe S wahrnehmen, und dadurch bestätigt finden, was wir vorher über das Verhalten einer radial angeordneten dichromatischen Masse gesagt haben.

Was die Aehnlichkeit der mit Hülfe eines rotirenden dichromatischen Krystalles hervorgebrachten Erscheinung mit den Farbenbüscheln betrifft, so ist zu bemerken, dafs man diese Versuche nur mit stärker dichromatischen Kry-

stallen anstellen kann, indem die gewöhnliche Unreinheit der Krystalle und sonstige Unvollkommenheiten des Apparates für die Beobachtung schwacher Lichteindrücke nicht günstig sind. Bei solchen stärker dichromatischen Krystallen sind aber die beiden Strahlen auch immer sehr ungleich hell. Ist z. B. der Farbenton *P* viel dunkler als *S*, so werden wir bei rotirender Scheibe auf einem lichten Grunde von der Farbe *S* zwei dunkle Sectoren von der Farbe *P* wahrnehmen, welche natürlich mit der Drehung des Nicol-schen Prisma ebenfalls ihre Stellung ändern. Diese zwei Sectoren bringen aber ersichtlich denselben Eindruck hervor wie die dunkleren, d. i. die gelben Büschel des von Haidinger entdeckten Phänomens; und zwar ist der Eindruck um so ähnlicher, je näher wir mit Prisma und Auge an die Scheibe gehen, in welchem Falle wir die bloſse Lichtempfindung haben ohne den Krystall selbst zu sehen.

Zu den Versuchen dienten mir vorzüglich Krystalle zusammengesetzt aus den beiden isomorphen Verbindungen, Kaliumeisencyanid (rothes Blutlaugensalz) und Kaliumkobaltcyanid ($K_3 Co_2 Cy_6$). Ein gröſserer Krystall wurde mit der Fläche (100)[1]) auf der Glasscheibe so befestigt, daſs seine Längsaxe (die Krystallaxe *c*) mit den Ausschnitten zusammenfiel. Die Farbe des Krystalles war alsdann im gewöhnlichen Lichte eigelb, im Lichte, das parallel den Ausschnitten polarisirt war, citronengelb, für senkrecht darauf polarisirtes Licht lichtrothbraun. Dem entsprechend erhielt man beim Rotiren des Krystalls zwei lichtrothbraun gefärbte Sectoren in der Polarisationsebene des Nicol'schen Prisma; senkrecht dazu aber eine citronengelbe Färbung.

Die Wirkung der Gestalt der Linse kann man dadurch nachahmen, daſs man die eine Seite des Krystalls ebenfalls, z. B. auf einem Uhrglase mittelst Schmirgel und Wasser, convex macht, oder daſs man aus der schwarzen Belegung der rotirenden Glasscheibe einen weiteren Ausschnitt von

1) $a : b : c = 1 : 0{,}772 : 0{,}622$. War die Fläche 100 nicht groſs oder nicht eben genug, so wurde dieſs durch Schleifen des Krystalles mit Wasser auf einer rauhen Glasplatte erreicht.

besonderer Form macht, wie diefs in Fig. 11 Taf. I angedeutet ist. Offenbar wird dadurch den Stellen, die weiter vom Centrum der Scheibe entfernt sind, mehr weifses Licht beigemischt und daher auch desto mehr die Färbung verringert.

Da für diese Krystalle die bräunlich gefärbten Sectoren in die Polarisationsebene des polarisirenden Prisma fallen, während sie in den Farbenbüscheln senkrecht dazu stehen, so ist es mir auch gelungen die Farbenbüschel meines Auges mit Hülfe eines solchen rotirenden Krystalles zu compensiren, d. h. unbemerkbar für mich zu machen. Der Krystall mufs natürlich in diesem Falle sehr dünn seyn um nur einen geringen Dichroïsmus auszuüben, welchen man nach Bedarf dadurch noch mehr vermindert, dafs man aus der schwarzen Belegung der Glasscheibe gröfsere oder kleinere Sectoren ausschneidet, welche dem weifsen Lichte den ungehinderten Durchgang gestatten. In diesem Falle hat man nur etwas rascher zu drehen, um das Flimmern zu vermeiden, welches bei der Aufeinanderfolge von weifs und schwarz eintritt.

Krystalle blofs aus Kaliumkobaltcyanid bestehend und schwach gelblich gefärbt gaben, wie die frühern behandelt, zwei gelblich gefärbte Sectoren senkrecht zur Polarisationsebene des Prisma. Ebenso ein etwas gröfserer Krystall von Santonin, der durch das Licht gelb gefärbt worden war. Sehr schön sah man das Phänomen auch an einer lichtbraun gefärbten Turmalinplatte, welche ziegelrothe Büschel auf lichtmeergrünem Grunde gab.

So viel über meine Versuche. Ich verzichte darauf zur Unterstützung meiner Erklärungsweise der Haidinger'schen Büschel auf solche Umstände hinzuweisen, wie die, dafs sich nach dieser Erklärungsweise leicht einsehen läfst, warum verschiedene Menschen die Farbenbüschel verschieden, andere sie erst im späteren Alter sehen u. s. f., indem ja doch die endgültige Bestätigung meiner Hypothese nur von der Physiologie erwartet werden kann.

Graz den 2. August 1864.

VII. *Einiges zur Erklärung der Erscheinungen beim Durchgange der Wärmestrahlen durch rauhe und trübe diathermane Körper;*

von C. G. Jungk,
Oberlehrer am Werderschen Gymnasium in Berlin.

Eine mündliche Mittheilung des Hrn. Prof. Knoblauch, dafs rauhes Steinsalz nicht nur von den Sonnenstrahlen weniger durchläfst als von den Strahlen einer andern Wärmequelle, wie Forbes entdeckt hat, sondern auch von den Strahlen einer Argand'schen Lampe weniger als von denen einer dunklen Wärmequelle, veranlafste mich zu der Bemerkung, dafs der Abstand und die Gröfse der Wärmequelle einerseits und die Form der Rauhigkeit des Steinsalzes andererseits die Ursache dieses Verhaltens seyn müsse, welches mit den sonstigen Durchstrahlungserscheinungen im Widerspruch zu stehen scheint. Durch die erschöpfende Versuchsreihe des Hrn. Prof. Knoblauch [1]) hat diese Vermuthung so sehr an Wahrscheinlichkeit gewonnen, dafs zur vollen Gewifsheit nur noch der Nachweis fehlt, in wiefern die Vereinigung jener Umstände den erwähnten Einflufs auf den Durchgang der Wärmestrahlen haben könne. Ein solcher Nachweis soll mit Hülfe gewisser Annahmen im Folgenden versucht werden.

Der Grad der Rauhigkeit ist zwar nach Hrn. Prof. Knoblauch als Diffusionsvermögen durch ein Experiment bestimmbar [2]), aber wohl unmöglich durch eine allgemein geltende mathematische Formel auszudrücken. Es mufs daher vorläufig genügen, eine specielle Form von Rauhigkeit ins Auge zu fassen.

1) Bei der Betrachtung eines Körpers legen wir demselben eine ideale Oberfläche bei und nennen dieselbe mehr oder weniger rauh. Soll die Rauhigkeit dem Grade nach

1) Pogg. Annal. Bd. CXX, S. 177.
2) Pogg. Annal. Bd. CXX, S. 204.

einigermaſsen bestimmt werden, so kann man sagen, sie ist um so gröſser 1) je gröſser die aus der idealen Fläche heraustretenden Flächenelemente im Verhältniſs zu ihrer Projection auf jene sind, 2) je gröſser die Verschiedenheit ihrer Richtungen ist, 3) je mehr diese verschiedenen Richtungen sprungweise in einander übergehen und 4) je gröſser die Projection des Oberflächenstücks ist, in welchem alle vorkommenden Richtungen vertreten sind.

Um so verschiedenartigen Rücksichten bei der Bestimmung der Rauhigkeit einer Ebene möglichst zu genügen, kann man sich diese mit Calotten besetzt denken, deren begränzende Kugelkreise in der idealen Ebene liegen und sich gegenseitig berühren, und die entweder ihre convexe oder ihre concave Seite nach auſsen wenden, und kann eine solche Ebene um so rauher nennen, je gröſser diese Calotten im Verhältniſs zu ihren Halbkugeln sind. Von einer solchen Ebene kann nachgewiesen werden, daſs sie den Durchgang der Wärmestrahlen so zu verändern im Stande ist, wie es Hr. Prof. Knoblauch von rauhen Ebenen gezeigt hat.

2) Die Strahlen, welche von einem Punkte auſserhalb des Brennpunktes einer Kugelfläche ausgehen, werden an derselben so gebrochen, daſs jeder innerhalb der Kugel eine andere Richtung hat; unter allen ist also nur einer, der nach der Brechung einer gegebenen Richtung parallel ist.

In Fig. 7 Taf. I gehe die Ebene des Papiers durch den Mittelpunkt c einer Halbkugel und schneide die auf ihr senkrechte Basis derselben in ab, also die Halbkugel in dem auf ab stehenden Halbkreise; cf sey die Richtung, welcher die gebrochenen Strahlen de und $d_1 e_1$ parallel seyn sollen, wenn sd und $s_1 d_1$ die auffallenden Strahlen sind. Ist n der Brechungsexponent und $\sin edc = \sin e_1 d_1 c = \frac{1}{n}$, so sind sd und $s_1 d_1$ Tangenten des Kreises, ihr Winkel $s_1 fs$ umfaſst also alle strahlenden Punkte, welche einen Strahl auf die Kugelfläche senden können,

der parallel cf gebrochen wird, und der Bogen dd_1 enthält alle Punkte der Kugel, wo eine solche Brechung stattfinden kann. Für $n = 1{,}5$, wie es etwa bei Steinsalz und Glas der Fall ist, beträgt der Bogen dd_1 etwa 82° und der Winkel s_1fs etwa 98°, so dafs innerhalb der Gränzen der Experimente alle Punkte der Wärmequelle, welche in der Ebene des Winkels liegen, sich auch innerhalb desselben befinden, selbst wenn cf von der auf ab senkrechten Linie ch bedeutend abweicht.

Ist qv die strahlende Linie, in welcher die Ebene des Papiers die Wärmequelle schneidet, so müssen alle Strahlen, welche von dieser Linie auf der rechten Seite von cf ausgehen und zu cf parallel gebrochen werden sollen, den Bogen di um so näher an i treffen, je näher ihr Ausgangspunkt an cf liegt, und alle Strahlen, welche von dieser Linie auf der linken Seite von cf ausgehen und nach der Brechung dieselbe Richtung haben sollen, müssen auf d_1i auch um so näher an i auffallen, je näher ihre Ausgangspunkte an cf liegen. Je kleiner also qv wird, desto kleiner wird der Bogen, welcher Strahlen nach der Richtung cf bricht. Dasselbe ist der Fall je weiter sich qv nach der Richtung ch von ab entfernt. Also werden von den Strahlen, welche qv nach der Linie ab senden kann, um so weniger nach der Richtung cf gebrochen, je kleiner und je entfernter qv ist. Dehnt man diese Betrachtung auf verschiedene Neigungen von cf gegen ch, und dann auf alle Ebenen aus, welche durch den Mittelpunkt der Halbkugel gehen und die Wärmequelle schneiden, so ergiebt sich, dafs von allen Strahlen, welche diese in gerader Richtung nach der Basis der Halbkugel senden kann, um so weniger nach bestimmten Richtungen gebrochen auf dieselbe gelangen, je kleiner und entfernter die Wärmequelle ist. Dasselbe Resultat ergiebt sich bei der Brechung an einer concaven Halbkugel. Hieraus folgt:

Eine diathermane Platte mit parallelen ebenen Flächen, deren vordere mit kleinen Calotten besetzt ist, bricht von den auffallenden Wärmestrahlen um so weniger nach den

Richtungen, welche die Thermosäule treffen, je kleiner und entfernter die Wärmequelle ist, also von parallelen Strahlen als Strahlen einer unendlich entfernten Quelle am wenigsten.

Hierbei ist natürlich vorausgesetzt, dafs die durchstrahlte rauhe Ebene eine constante Entfernung von der Thermosäule hat.

Ist die Hinterfläche der diathermanen Platte ebenfalls mit solchen Kugelflächen besetzt, so wiederholt sich hier derselbe Vorgang, und auch hier mufs die Schwierigkeit, Strahlen nach der Thermosäule zu senden, für die entferntere und kleinere Wärmequelle gröfser seyn. Denn obwohl hier die Strahlen aus einem dichteren Mittel in ein dünneres treten, so ergiebt sich doch auch, dafs eine Wärmequelle innerhalb des dichteren Mittels von den Strahlen, welche sie in gerader Richtung auf die Basis einer Kugelkappe senden kann, um so weniger nach einer bestimmten Richtung gebrochen durch die Kugelfläche schickt, je kleiner und je mehr sie von der brechenden Fläche entfernt ist. Für die Hinterfläche sind aber die Punkte der Vorderfläche, durch welche Strahlen verschiedener Richtung eindringen, strahlende Punkte und die Theile der Calotten, auf welchen solche Punkte liegen, Wärmequellen von einiger Ausdehnung, welche von ihren auf die Hinterfläche fallenden Strahlen um so weniger nach den Richtungen zur Thermosäule hindurchdringen, je geringer ihre Dimensionen sind. Diese sind nun aber um so geringer, je kleiner und entfernter die Wärmequelle ist. Also mufs das Hinzutreten jener hypothetischen Rauhigkeit an der Hinterfläche der diathermanen Platte den Durchgang der auf die Vorderfläche fallenden Strahlen ebenfalls um so mehr vermindern, je kleiner und entfernter die Wärmequelle ist.

Diese Folgerungen sprechen sich schon in den Versuchen auf S. 199 und 200 der Knoblauch'schen Abhandlung in sofern aus, als die Sonne bei ihrer grofsen Entfernung als strahlender Punkt gilt, und die Argand'sche Lampe eine kleinere und gewöhnlich auch entferntere Wär-

mequelle ist, als der dunkle heifse Metallcylinder von ungefähr 6 bis 8 Zoll Höhe und 1 Zoll Durchmesser. Die Versuchsreihen von S. 239 bis 249 bestätigen diefs aber ganz speciell; denn sie zeigen, 1) dafs durch rauhes Steinsalz von den Strahlen einer und derselben Wärmequelle um so weniger zur Thermosäule gelangen, je mehr jene entfernt wird, 2) dafs von den Strahlen solcher Wärmequellen, welche verschiedene Ausdehnung und Entfernung haben, durch rauhes Steinsalz gleich viel auf die Thermosäule fallen, wenn durch geeignete Vorrichtungen bewirkt wird, dafs immer nur parallele Strahlen das Steinsalz treffen, also der Einflufs der Entfernung und Gröfse der Quelle beseitigt ist, und 3) dafs selbst von den Strahlen einer kleinern Wärmequelle mehr als von denen einer gröfsern durch rauhes Steinsalz auf die Thermosäule wirken, wenn die gröfsere angemessen entfernt wird.

Der Widerspruch, in welchem die Versuche auf S. 221 zur theoretischen Folgerung stehen, wird auf S. 252 gehoben.

3) Die strahlenden Theile der Calotten an der Vorderfläche werden nach No. 2 aber auch um so weniger Strahlen nach den Richtungen zur Thermosäule durch die rauhe Hinterfläche bringen, je weiter sie von dieser entfernt werden, je dicker also die Platte wird, wenn auch die Entfernung der Vorderfläche von der Wärmequelle unverändert bleibt, wofern sich nur dabei der Abstand zwischen der Hinterfläche und der Thermosäule nicht ändert.

Diese Bedingungen lassen sich leicht erfüllen, wenn man statt *einer* zweiseitig rauhen zwei einseitig rauhe Platten anwendet, und noch leichter, wenn zugleich eine sehr entfernte Wärmequelle gebraucht wird. Unter diesen Umständen neuerdings angestellte Versuche haben, wie mir von Hrn. Prof. Knoblauch mitgetheilt worden ist, obiges Resultat bestätigt.

4) Wie in No. 2 gezeigt ist, werden von den auf eine rauhe diathermane Platte fallenden Strahlen um so weniger durch die Calotten nach bestimmten Richtungen gebrochen,

je kleiner die wirksamen Theile dieser Calotten im Verhältnifs zu deren Basis durch Entfernen oder Verkleinern der Wärmequelle werden. Dasselbe mufs eintreten, wenn dieses Verhältnifs ohne Veränderüng der Wärmequelle sich in derselben Weise ändert, wie es der Fall ist, wenn die zu den Calotten gehörigen Centriwinkel zunehmen. Je gröfser ferner die wirksamen Theile der Calotten sind, desto weniger wird sich die von ihnen nach gewissen Richtungen gebrochene Strahlenmenge im Verhältnifs zur Gesammtheit aller auffallenden Strahlen vermindern, wenn die Centriwinkel der Calotten wachsen. Hieraus folgt:

Je rauher (No. 1) *eine diathermane Platte wird, um so weniger läfst sie von den auffallenden Strahlen zur Thermosäule gelangen, dieser Einflufs macht sich aber um so weniger geltend, je gröfser und näher die Wärmequelle ist.*

Die Uebereinstimmung dieses Satzes mit der Erfahrung wird durch demnächst zu veröffentlichende Versuche des Hrn. Prof. Knoblauch erwiesen, findet aber auch schon ihre Bestätigung in der Versuchsreihe auf S. 261 der oben gedachten Abhandlung. Denn die durch Glimmer gehenden Strahlen bewahren sich den Charakter der aus unendlicher Ferne kommenden, während die aus dem zweiseitig rauhen Steinsalz austretenden Strahlen Richtungsunterschiede haben, wie Strahlen einer nahen Quelle, und die klare, rauhe und rauhere Steinsalzplatte lassen von den erstern bezüglich 0,82, 0,42 und 0,25, dagegen von den letztern bezüglich 0,82, 0,63 und 0,42 zur Thermosäule gelangen.

5) Befindet sich ein strahlender Punkt im Brennpunkt einer brechenden Kugelfläche, so sind alle eindringenden Strahlen parallel und man kann es so einrichten, dafs sie alle die Thermosäule treffen. Bei zunehmender Entfernung des strahlenden Punktes nehmen aber die eindringenden Strahlen eine immer verschiedenere Richtung an, und immer weniger treffen sie die Thermosäule, vorausgesetzt, dafs die brechende Fläche eine constante Entfernung von der Thermosäule hat. Ist aber die Entfernung so grofs geworden, dafs der Kugelradius dagegen verschwindet, die eindringen-

den Strahlen also nahe durch den Brennpunkt gehen, so wird eine weitere Zunahme der Entfernung keine merkbare Aenderung in der Wirkung auf die Thermosäule zur Folge haben. Wird dagegen in diesem Falle die Kugelfläche von der Thermosäule*entfernt, so dafs ihre Entfernung vom strahlenden Punkt im Vergleich zu ihrem Radius unendlich grofs bleibt, so fallen von ihrem Strahlenbüschel immer weniger Strahlen auf die Thermosäule. Gegen die Radien der Kugelflächen, welche die Rauhigkeit der hier in Betracht gezogenen Ebenen bestimmen, ist eine Entfernung von mehreren Zollen schon unendlich grofs; daher ergiebt sich:

Durch eine diathermane Platte mit solchen rauhen Ebenen gelangen von den auffallenden Sonnenstrahlen nicht merklich weniger zur Thermosäule, wenn sie direct auffallen, als wenn sie vorher mittels einer Steinsalzlinse durch einen und denselben Punkt geführt sind, dessen Entfernung gegen die Kugelradien unendlich grofs ist; dagegen um so mehr, je näher die Platte der Thermosäule rückt.

Dasselbe findet sich theils in dem auf S. 211 angeführten Experiment ausgesprochen, theils in der auf S. 222 angeführten Entdeckung Mellonis, dafs rauhe und trübe Medien um so mehr Wärmestrahlen zur Thermosäule gelangen lassen, je näher sie derselben stehen.

6) Fallen Sonnenstrahlen senkrecht auf eine diathermane Platte, welche vorn mit Calotten besetzt ist, so werden sie nach den Brennpunkten gebrochen. Je gröfser die Centriwinkel der Calotten sind, desto gröfser mufs die Richtungsverschiedenheit der dahin vereinigten und von da aus auf eine zweite rauhe Platte fallenden Strahlen seyn, und desto mehr müssen also von ihnen durch diese zweite zur Thermosäule gelangen, gerade so wie von den Strahlen einer Wärmequelle, deren Entfernung abnimmt oder deren Dimensionen zunehmen.

Die Richtungsverschiedenheit der aus der ersten Platte auf die zweite fallenden Strahlen, wird aber auch ohne Aenderung der Rauhigkeit an der Vorderfläche gröfser,

wenn die erste Platte der zweiten näher rückt, und wenn zur Rauhigkeit an der Vorderfläche noch dieselbe an der Hinterfläche hinzutritt und die Richtungsverschiedenheit der austretenden Strahlen noch vermehrt. Hieraus folgt:

Von den Sonnenstrahlen, welche durch eine diathermane Platte auf die Thermosäule fallen können, gelangen beim Durchgang durch eine zweite rauhe Platte um so mehr dahin, 1) je rauher die erste Platte und 2) je näher sie der zweiten steht, während diese von der Thermosäule eine constante Entfernung hat.

Dieses Resultat ist in der Versuchsreihe auf S. 216 in Betreff der Rauhigkeit des ersten Schirms vollständig ausgesprochen. Eine seitdem angestellte hat auch den Einfluſs des verschiedenen Abstandes beider Schirme nach Erwarten bestätigt (vergl. No. 3).

7) Die erste rauhe diathermane Platte kann durch eine rauhe reflectirende Ebene ersetzt werden, die eben so mit Kugelflächen besetzt ist, ohne daſs sich in der Betrachtung etwas Wesentliches ändert, und man kann daher auch analog zu No. 6 behaupten, daſs eine rauhe diathermane Platte bei constanter Entfernung von der Thermosäule von reflectirten Sonnenstrahlen um so mehr zur Säule gelangen läſst 1) je rauher die reflectirende Ebene ist und 2) je näher diese der diathermanen Platte steht [1]).

Diesem Satze entsprechen die Versuche auf S. 224 bis 229 vollkommen. Eine Ausdehnung derselben auf verschiedene Abstände der reflectirenden und der diathermanen Platte hat auch den letzten Theil desselben mit der Erfahrung in Uebereinstimmung gezeigt.

8) Wenn die Sonnenstrahlen senkrecht auf eine diathermane Platte fallen, welche mit Calotten besetzt ist, so

1) Die Analogie mit No. 4 würde schlieſsen lassen, daſs eine rauhe reflectirende Ebene von parallel auffallenden Sonnenstrahlen nicht merklich weniger auf die Thermosäule wirft als von solchen, welche vor der Reflexion durch einen Punkt geführt sind, dessen Entfernung von den reflectirenden Calotten gegen deren Radius unendlich groſs ist, dagegen um so mehr, je näher sie der Thermosäule ist.

treffen sie alle Theile der Vorderfläche, also auch diejenigen, welche zwischen den Calotten in der idealen Ebene liegen. Je gröfser der Einfallswinkel in Bezug auf diese wird, desto weniger werden diese Theile von Strahlen getroffen, wenn nicht alle Colotten ihre concave Seite nach aufsen kehren, d. h. desto geringer wird die Zahl der Strahlen, welche unter sich parallel in die Platte dringen, bis alle ebenen Flächenelemente, welche mit zunehmendem Einfallswinkel in den Schatten convexer Calotten treten können, diefs auch gethan haben. Je gröfser diese im Vergleich zu ihren Halbkugeln sind, bei desto kleinerem Einfallswinkel mufs diefs geschehen. Andererseits folgt, dafs bei gleichem Einfallswinkel die gröfseren Calotten von den dazwischen liegenden kleinen Ebenen mehr in den Schatten stellen als die kleinern. Da nun von den parallelen Strahlen nach No. 2 beim Durchgang durch eine rauhe diathermane Platte am wenigsten zur Thermosäule gelangen, so ergiebt sich aus dem Vorigen:

Von Sonnenstrahlen, welche durch eine rauhe Platte gegangen sind, müssen durch eine zweite Platte solcher Art um so mehr zur Thermosäule gelangen, je gröfser bis zu einem Maximum der Winkel wird, den die parallelen Sonnenstrahlen mit der Normale der ersten Platte bilden und je rauher diese ist.

Dieses Resultat ist zum gröfsten Theil schon in den Versuchsreihen auf Seite 266 klar ausgesprochen. Auch das Maximum des Winkels ist neuerdings beobachtet worden. Dafs der Einflufs des Einfallswinkels bei zweiseitiger Rauhigkeit geringer wird, ja ganz verschwindet, wie auf derselben Seite experimentell nachgewiesen ist, dürfte darin seinen Grund haben, dafs schon bei senkrechtem Auffallen wenig oder gar keine Sonnenstrahlen unter sich parallel hindurchgehen, indem die Strahlen, welche bei der ersten Brechung parallel bleiben, bei der zweiten verschiedene Richtung erhalten.

9) Der Umstand, dafs Glasplatten, welche mit Lycopodium bestreut sind, Wärmestrahlen hindurchlassen, von

welchen durch rauhe diathermane Platten so viel zur Thermosäule gelangen, wie von den durch klares Glas gegangenen (S. 222), dafs dagegen polirtes Metall, welches ebenso bestäubt ist, Wärmestrahlen reflectirt, von welchen durch rauhe Platten mehr auf die Thermosäule fallen als von den Strahlen, welche an dem polirten nicht bestäubten Metall reflectirt sind, wird durch die obigen Betrachtungen auch erklärlich, da der Samenstaub von Lycopodium sich in rundlichen Formen mit körnigem Inhalt darstellt, welche zwar die Wärmestrahlen jenen Bedingungen gemäfs zu reflectiren geeignet seyn können, aber wenig oder gar nicht diatherman seyn müssen.

10) Was die trüben Medien betrifft, welche von Hrn. Prof. Knoblauch einer ganz gleichen Untersuchung unterworfen worden sind und dabei dieselben Resultate gegeben haben, so ist zu bemerken, dafs ihre hier in Betracht kommende Eigenschaft durch kleine durchsichtige Körperchen hervorgebracht ist, welche in der andersbrechenden Hauptmasse gleichmäfsig vertheilt sind, und dafs diese Körperchen beim Flufs der ganzen Masse auch kuglichte Formen angenommen haben können. Bei dieser Annahme erklären sich dann die verschiedenen Erscheinungen in ganz ähnlicher Weise.

Obwohl nicht anzunehmen ist, dafs die Formen, welche die dem Versuch unterworfenen Körper rauh oder trübe machen, mit den der theoretischen Betrachtung zu Grunde gelegten vollkommen gleich sind, so berechtigt doch die Uebereinstimmung der theoretischen und experimentellen Resultate zu der Annahme, dafs die hypothetische Rauhigkeit alle Bedingungen enthält, welche für die besprochenen Erscheinungen wesentlich sind, wenn sie auch aufserdem regelmäfsiger ist als die Formen der Rauhigkeit, welche man durch verschiedene Schleifmittel hervorzubringen im Stande ist.

Es dürfte hier noch die Bemerkung am Orte seyn, dafs durch die besprochene Untersuchung des Hrn. Prof. Knoblauch neue Bedingungen eingeführt sind, welche bei Ver-

suchen über strahlende Wärme erfüllt seyn müssen, wenn sichere Schlüsse über die qualitative Verschiedenheit der Wärmestrahlen daraus gezogen werden sollen, und dafs Behauptungen, welche auf früheren Beobachtungen insonderheit an rauhen Körpern beruhen, jetzt nicht vollen Glauben verdienen, wenn nicht ausdrücklich bemerkt ist, dafs nur parallele Strahlen zu den Beobachtungen dienten.

VIII. *Bemerkungen über die Form des Horopters; von H. Helmholtz.*

In einer Anmerkung zu Band CXXII, Seite 477 dieser Annalen ergreift Hr. E. Hering die Gelegenheit eine von ihm im vierten Hefte seiner Beiträge zur Physiologie aufgestellte Behauptung zu wiederholen, dafs ich nämlich irrthümlicher Weise der allgemeinen Horoptercurve *zwei* Zweige zugeschrieben hätte, während sie nur *einen* habe.

Der Sachverhalt ist, wie ich hiergegen bemerken mufs, folgender: Die Horopterlinie wird im Allgemeinen gebildet durch gewisse Theile einer Schnittlinie gewisser Flächen zweiten Grades. Ich selbst habe sie als die Schnittlinie zweier Hyperboloïde von einer Mantelfläche dargestellt [1]). Aufser dieser Darstellung hat Hr. Hering auch noch die durch einen Kegel gegeben, der einen Cylinder schneidet, in dessen Oberfläche seine Spitze liegt. Man kann bekanntlich eine solche Schnittlinie zweier Flächen zweiten Grades sehr mannigfaltig darstellen, da sich unendlich viele Flächen zweiten Grades durch dieselbe Schnittlinie legen lassen.

Die genannte Schnittlinie besteht nun in diesem Falle aus zwei getrennten Theilen, nämlich 1) einer geraden Linie, 2) einer zusammenhängenden Curve doppelter Krümmung.

1) Archiv für Ophthalmologie Bd. X, Abth. I.

Die gerade Linie ist bei der von mir an der genannten Stelle eingeschlagenen Behandlung des Problems die Schnittlinie der beiden Ebenen, welche in den Knotenpunkten beider Augen senkrecht zu den Gesichtslinien errichtet sind. Hr. Hering hat nun bemerkt, dafs diese gerade Linie nicht Horopter ist, obgleich sie bei der analytischen Behandlung des Problems den gefundenen Gleichungen der Horopterlinie genügt, aber er hat nicht bemerkt, dafs auch ein Theil der Curve nicht Horopter ist.

Diese Curve geht nämlich durch die Knotenpunkte beider Augen, und läuft mit ihren beiden Enden nach entgegengesetzten Richtungen in das Unendliche aus. Diejenigen Stücke der Curve nun, welche zwischen Unendlich und je einem Knotenpunkte liegen, bilden den Horopter; das zwischen den Knotenpunkten liegende Stück der Curve ist aber nicht Horopter. Wenn also auch die krumme Schnittlinie der Hyperboloïde eine Curve von einem Zweige ist, so hat doch die Horopterlinie zwei vollständig von einander getrennte Zweige.

Wenn der Fixationspunkt in der Primärlage der Visirebene oder in der Medianebene des Kopfes liegt, stofsen die beiden Zweige der Horopterlinie in einem Punkte zusammen, und verwandeln sich in zwei sich schneidende ebene Curven, nämlich in eine gerade Linie und einen ebenen Kegelschnitt, der in dem ersten der eben genannten Fälle ein Kreis, der von J. Müller schon gefundene Horopterkreis ist, dieser Kreis geht bekanntlich durch den Fixationspunkt und die Knotenpunkte beider Augen.

Es ist aber evident, dafs von diesem Müller'schen Horopterkreise derjenige Bogen, welcher zwischen den Knotenpunkten beider Augen liegt, und nicht durch den Fixationspunkt geht, ebenfalls nicht Horopter ist. Denn abgesehen davon, dafs bei der gewöhnlichen Gesichtsbildung gar kein Theil dieses Bogens, der durch die Nasenwurzel hindurchgeht, von beiden Augen gleichzeitig gesehen werden kann, würden auch selbst bei so platter Nase und so hervorragenden Augen, welche diefs möglich machten, die

Punkte dieses Bogens sich auf den beiden äufseren, also *nicht identischen* Seiten beider Netzhäute abbilden. Und auch bei gewöhnlicher Gesichtsbildung erkennt man ja leicht, dafs Objecte, die diesem Bogen nahe liegen, wie zum Beispiel unser Nasenrücken selbst, beiden Augen an gerade entgegengesetzten Seiten des Gesichtsfeldes erscheinen.

Was nun in dem speciellen Falle von dem genannten Bogen des Müller'schen Kreises gilt, gilt in dem allgemeineren Falle, wie leicht ersichtlich, gerade ebenso von demjenigen Stücke der Curve, welches zwischen den beiden Knotenpunkten liegt. In diesem Stücke der Curve schneiden sich zwar auch identische Richtungslinien, aber es ist das nach hinten über die Netzhaut hinaus verlängerte Stück der einen, welches das vordere Stück der entsprechenden Richtungslinie im andern Auge schneidet, während ein reelles Object, was einfach gesehen werden soll, im Schnittpunkte der vor dem Auge gelegenen Theile identischer Richtungslinien sich befinden mufs.

Ich will nun deshalb, weil Hr. Hering diesen Punkt übersehen hat, ihm nicht nachsagen, wie er es mir im entsprechenden Falle gethan hat, dafs das Allgemeinergebnifs seiner Rechnung über den Horopter unrichtig sey. Im Gegentheile kann ich seine Behandlung des Problems meinen Lesern nur als sehr elegant, übersichtlich und vollständig anempfehlen; freilich ist die Asymmetrie der beiden Netzhäute, welche einen sehr wichtigen Einflufs auf die Gestaltung des Horopters hat, nur sehr nebenbei berücksichtigt worden.

Auch mufs ich einräumen, dafs in der ersten vorläufigen Notiz, die ich in den Verhandlungen des hiesigen naturwissenschaftlichen Vereins [1]) über meine Untersuchungen, den Horopter betreffend, gegeben habe, derselbe gegeben ist durch eine Gleichung vierten und eine zweiten Grades. Ich hatte damals noch nicht bemerkt, dafs zwei Gleichungen nur zweiten Grades genügend seyen. In der schliefs-

1) Sitzung vom 24. October 1862, abgedruckt in den Heidelberger Jahrbüchern.

lichen ausführlichen Redaction meiner Untersuchungen habe ich diese vereinfachte Darstellung noch vor Hrn. Hering's entsprechenden Untersuchungen gegeben und veröffentlicht.

Was die vielen andern Ausstellungen betrifft, die Hr. Hering an meinen Arbeiten über Augenbewegungen und Horopter zu machen findet, so behalte ich mir vor, diejenigen, wo sachliche Erläuterungen oder die Beseitigung von Mifsverständnissen nöthig erscheinen, in meinem nun bald vollendeten Handbuche der Optik zu berücksichtigen.

Nur einen Punkt noch mufs ich gleich erörtern. Ich habe in meinem Aufsatze über die Augenbewegungen[1]) gesagt, Hr. Hering habe »die richtige Behauptung aufgestellt, dafs der Horopter immer linienförmig sey.« In diesen Worten findet Hr. Hering die Insinuation, er habe es zwar behauptet, aber nicht erwiesen, und vertheidigt sich dagegen. Ich bedaure sehr, dafs meine in ganz unverfänglicher und wohlmeinender Absicht geschriebenen Worte eine solche Deutung erleiden konnten, und erkläre daher hier ausdrücklich, dafs auch meiner Meinung nach Hr. Hering im dritten Hefte seiner Beiträge einen vollkommen genügenden Beweis für diesen von ihm selbstständig und unabhängig von meiner gleichzeitigen Arbeit gefundenen Satz gegeben habe.

1) Archiv für Ophthalmologie IX, 2. S. 159.

IX. *Zur Frage über den Pulshammer; von Dr. Prof. Franz Joseph Pisko in Wien.*

Die Erscheinungen im Pulshammer (»in den franklinischen Kugeln«) sind in letzterer Zeit einiger Aufmerksamkeit gewürdigt worden. Wenn beide Kugeln des Instrumentes nach oben gekehrt sind und eine *leicht verdunstende* Flüssigkeit in beiden Kugeln und der verbindenden Röhre enthalten ist, so tritt bekanntlich in einer der Kugeln ein Aufwallen der Flüssigkeit ein, wenn man die andere Kugel durch Bedecken mit der Hand erwärmt. Scoppewer (Pogg. Ann. CXV, S. 654) meint nun, dieses Aufwallen der Flüssigkeit rühre von der durch die Erwärmung bewirkten Ausdehnung jener Luft her, die über der Flüssigkeit in der erwärmten Kugel sich befindet, und hat darin vollständig geirrt, wie J. Schabus (Pogg. Ann. CXXII, S. 175) zur Genüge dargethan hat. Allein der *vierte* Versuch Scoppewer's (Pogg. Ann. CXV, S. 656) zeigt dennoch, dafs man es bei dem Pulshammer, wie er gewöhnlich gebraucht wird, *nicht mit einem wirklichen Sieden, sondern nur mit einer dem Sieden ähnlichen Erscheinung zu thun hat.* Denn in der That bleibt die Flüssigkeit ruhig, wenn man die mit Flüssigkeit zum Theil gefüllten Kugeln *nach unten* kehrt und eine derselben mit der Hand umschliefst. Dieser Umstand bewirkte, dafs ich diese Thatsache (gegen die allgemeine Ansicht) von jeher nur als eine dem Sieden ähnliche Erscheinung auffafste [1]). Ich hatte nämlich schon früher den Versuch mit den umgekehrten Kugeln gemacht und ein negatives Resultat bekommen.

1) Pisko, Lehrbuch der Physik für Unterrealschulen. Erste Auflage, Brünn 1854, S. 245. »Die Erscheinungen beim *Wasser-* und *Pulshammer* zur Erklärung vorlegen; ob hier *wirkliches* Sieden oder nur eine das Sieden *versinnlichende* Erscheinung stattfinde.«
Pisko, Lehrbuch der Physik für Untergymnasien, Wien 1855 S. 178. »Eine dem *Sieden ähnliche Erscheinung bei luftleerem Raume* bieten der *Wasserhammer* und der *Pulshammer;*

Es zeigt sich kein Sieden, sondern nur ein schwaches Ueberdestilliren der Flüssigkeit nach der kälteren Kugel.

Erst bei Erwärmung mittelst einer Weingeistflamme tritt *sehr bald* wirkliches Sieden ein. Der Vorgang im Pulshammer und in allen ähnlichen Geräthen ist demnach folgender: Wenn man die Kugeln, welche theilweise mit Flüssigkeit gefüllt sind, nach aufwärts kehrt und eine derselben mit der Hand erwärmt, so bilden sich neben den schon vorhandenen Dünsten, noch neue Dünste aus der Flüssigkeit. Diese Dämpfe nun entweichen zum Theil in die andere Kugel, welche minder gespannte Dämpfe enthält, und verursachen dabei das Aufwallen der Flüssigkeit. Für die Richtigkeit dieser Erklärung sprechen alle von J. Schabus angeführten Versuche (Pogg. Ann. Bd. CXX, S. 175 und 176) und auch noch folgende Erfahrungen, die ich alljährlich bei Gelegenheit der Demonstration der betreffenden Experimente machte.

1) Wenn man die eine *nach aufwärts gerichtete Kugel* so lange mit der Hand bedeckt hält, bis das *siedenähnliche* Aufwerfen der Flüssigkeit aufhört und hierauf die andere Kugel in irgend einer Weise *rasch abkühlt*, so tritt wegen der Condensation der Dämpfe in der erkalteten Kugel, augenblicklich das Aufwallen der Flüssigkeit ein und zwar um so heftiger, je mehr abgekühlt wurde. Die Abkühlung bewirkte ich durch Aufgiefsen von kaltem Wasser, durch Auflegen von Eisstückchen, durch Betröpfeln mit rasch verdunstenden Flüssigkeiten, wie Schwefeläther, Schwefelkohlenstoff und dergl. Dieser Versuch ist jenem ähnlich, wo man durch Aufgiefsen von kaltem Wasser auf das geschlossene gläserne Siedegefäfs unter dem Siedepunkte erwärmtes Wasser zum Sieden bringt; aber die Umstände sind darin verschieden, dafs die Flüssigkeit nicht unmittelbar an den erwärmten Glasstellen anliegt.

2) Wenn das im vorigen erwähnte Gleichgewicht eingetreten ist, und man erkaltet die zweite Kugel nicht, erhöht aber die Wärme an der Hand dadurch, dafs man sie rasch am Körper reibt und schnell wieder an die erste Kugel

anlegt, so tritt abermals, wenn auch schwaches und nicht lange dauerndes Aufwerfen der Flüssigkeit in der zweiten Kugel ein. So schwach auch diese Bewegung ist, so ist sie augenfällig viel bedeutender als man voraussetzen könnte, wenn man nur annehmen wollte, die erste Kugel sey indefs erkaltet, und durch die Wiederzufuhr der verlornen Wärme trete die Erscheinung ein. Wenn man für die gleiche Zeit der Unterbrechung die ungeriebene Hand auflegt, ist die Bewegung schwächer.

3) Wenn man je eine der Kugeln gleichzeitig von zwei verschiedenen Individuen mittelst der Hand erwärmen läfst, so tritt nur eine schwache Bewegung der Flüssigkeit nach der etwas kälteren Handoberfläche auf. In der That hat man dann nichts als ein Differential-Thermoskop, wo die schon bestehenden und sich bildenden Dämpfe die thermoskopische Substanz abgeben.

4) Bei Pulshämmern, welche gefärbten Weingeist- oder gar Schwefeläther enthalten, treten die aufwallenden Erscheinungen in den vorigen Versuchen heftiger auf als bei solchen, die nur mit Wasser gefüllt sind, oder als bei einem Kryophor, den man wie den Pulshammer gebraucht.

5) Wenn man sich zu den Versuchen des sogenannten »*Wasserhammers*« bedient, so zeigen sich alle eben angeführten Erscheinungen unter den nämlichen Bedingungen ungeändert wieder. Das Aufwerfen der Flüssigkeit ist jedoch heftiger, wenn die freie Birne nach oben gekehrt ist, und minder stark, wenn man den *freien* Stiel nach oben gewendet hat. Im ersten Falle ist nämlich die erwärmte Glasfläche und das von dieser umfafste Dampfvolumen bedeutender als im zweiten Fall. Die Erscheinungen in beiden Fällen sind folgende: Zuerst fliefst durch die enge Oeffnung die Flüssigkeit aus dem freien Theile in den von der Hand umfafsten Theil. Bald jedoch hört dieses Fliefsen in Folge der entgegenströmenden gespannten Dämpfe auf und gleichzeitig beginnt auch schon das Aufwerfen der Flüssigkeit, welches besonders deutlich bei dem engen verbindenden Röhrchen auftritt.

6) Scoppewer hat richtig bemerkt, dafs die Handfläche bald erkaltet, aber das kommt eben durch die beim Verdunsten der Flüssigkeit latent werdende Wärme.

Dafs keine dieser Erscheinungen durch Ausdehnung der Luft in der erwärmten Kugel und Zusammenziehung derselben in der abgekühlten Luft bewirkt wird, hat schon Schabus gezeigt. Ich betone nur noch, was längst bekannt ist, dafs das Instrumentchen nahezu *luftleer* ist. Die Luft wird nämlich bei der Anfertigung derartiger Apparate von dem beim Sieden der Flüssigkeit aufsteigenden Dämpfen nahezu gänzlich ausgetrieben. Für den luftleeren Zustand dieser Apparate spricht noch 1) das unmittelbare Anschlagen (»Klingen«) der Flüssigkeiten an die Glaswände, wenn man die Geräthe entsprechend rasch bewegt; daher eben der Name »*Wasserhammer*«! 2) die Handwärme reicht freilich nicht hin die Flüssigkeiten ins Sieden zu bringen, wenn die letzteren unter jene Bedingungen versetzt werden, wie sie sich gewöhnlich beim Sieden befinden, also z. B. wenn man die beiden zum Theil gefüllten Kugeln nach unten bringt und die eine derselben mit der Hand bedeckt; aber das wahre Sieden tritt sehr schnell ein, sobald man eine der Kugeln mittelst einer Weingeistflamme erwärmt. Diefs hat auch schon Scoppewer gesehen (Pogg. Ann. Bd. CXV, S. 656, Versuch 6), aber daraus keinen richtigen Schlufs gezogen. Wenn im merklichen Grade Luft im Instrumente wäre, so könnte unter diesen Umständen nie ein Sieden eintreten; es wäre ja ein Papin'scher Topf in anderer Form!

Ich bemerke nur noch, dafs das Sieden unter den letzt angeführten Umständen unter heftigem Stofsen der Flüssigkeit auftritt und zwar bei jeder Form des Geräthes (Pulshammer, Kryophor, Wasserhammer, Geifsler'scher Wasserhammer mit langem und kurzem Schenkel und je einer Kugel an den Enden), und sowohl wenn es Wasser als auch wenn es Weingeist enthält.

Die siedeähnliche Erscheinung bei aufwärts gerichteten

Kugeln tritt aus folgenden Ursachen früher ein als das eigentliche Sieden bei abwärts gerichteten Kugeln:

a) Bei der Erwärmung der aufwärts gerichteten Kugeln finden sich schon über der Flüssigkeit fertige Dünste vor, deren Spannkraft nur durch die Handwärme zu erhöhen ist, wenn das Aufwerfen der Flüssigkeit erfolgen soll; bei der Erwärmung der abwärts gerichteten Kugeln hingegen müssen die blasenwerfenden Dämpfe erst erzeugt werden, was jedenfalls mehr Wärme in Anspruch nimmt.

b) Wenn die Kugeln abwärts gerichtet sind, haben die zu erzeugenden Dünste die Spannkraft *aller* fertigen, über der zu erwärmenden Flüssigkeit befindlichen Dämpfe zu überwinden, während bei den aufwärts gerichteten Kugeln ein Theil dieser fertigen Dämpfe beim Blasenwerfen sogar unterstützend wirkt (vergleiche *a*), d. i. jener Dampf, welcher in der von der Hand erwärmten Kugel sich befindet.

c) Wenn man die abwärts gekehrte Kugel mit der Hand erwärmt, umfafst man *nolens volens* auch jenen oberen Theil derselben, welcher Dunst enthält. Dadurch wird dieser Dunst um dieselbe Temperatur erhöht wie die Flüssigkeit. Es ist klar, dafs dann der Druck dieser Dämpfe nach abwärts gröfser ist als jener der entstehenden Dünste nach aufwärts, und dafs folglich kein Sieden eintreten kann. Anders ist diefs (unter gleichbleibenden Umständen) bei der Erwärmung mittelst einer Flamme oder eines Bades. Beide können derart regulirt werden, dafs vorzüglich die unteren Theile der Kugel erwärmt werden, und auch ohne Regelung werden jedenfalls die unteren Theile der Kugel früher und mehr warm als die oberen, was eine rasche Bildung von Dämpfen in jenen Flüssigkeitsschichten zur Folge hat, welche die von der Wärmequelle getroffenen Glastheile berühren. Die derart entstehenden Dämpfe erreichen bald eine Spannkraft, welche die Expansivkraft der oberen minder warmen Dünste übertreffen und — das Sieden beginnt.

Fassen wir zusammen: Bei *aufwärts gerichteten* Kugeln bewirken bereits fertige Dünste durch das Hinzukommen

neuer Dünste und durch die erhöhte Spannkraft ein Aufwerfen der Flüssigkeit, wenn eine der Kugeln mit der Hand erwärmt wird.

Bei *abwärts gerichteten Kugeln* haben nur neu entstehende Dünste das Aufwerfen der Flüssigkeit zu bewirken; es ist hierzu eine Wärmequelle erforderlich, welche den unteren Theilen der Kugel mehr Wärme zuführt als den oberen. Dazu ist die Erwärmung mit der Hand nicht tauglich, wohl aber eine kleine Weingeistflamme.

Die Familie der »*Pulshämmer*« wird daher nach wie vor ganz gut zur Demonstration des Siedens im luftleeren Raume bei Erwärmung mittelst der Hand dienen können, da es sich ja nur darum handelt zu zeigen, wie das Sieden durch die aufsteigenden Dunstblasen durch die ganze Flüssigkeit zu Stande kommt, und diefs um so eher, je geringer der Druck ist, welcher auf der siedenden Flüssigkeit lastet. Es wird aber gut seyn aufmerksam zu machen, inwiefern sich die Erscheinung bei aufwärts gerichteten Kugeln von jener bei der entgegengesetzten Lage des Instrumentes unterscheidet.

X. *Beitrag zur Fluorescenz des Lichtes; von Dr. Prof. Franz Joseph Pisko in Wien.*

Das *Platin-Cäsium-Sulfür* in etwa 100 Theilen Schwefelkohlenstoff gelöst stellt eine Flüssigkeit dar, welche im durchfallenden Tageslicht *tief rumbraun*, im auffallenden Licht aber *schön olivengrün* ist; beides im auffallendsten Grade. Ich vermuthete daher gleich beim ersten Anblicke, dafs dieser Stoff wahrscheinlich zu den empfindlichst fluorescirenden gehören möge, und hielt es für gut einige eingehende Versuche in dieser Richtung anzustellen. Nachdem ich ein neues Spectrum vom Sonnenlicht in der Dun-

kelkammer erzeugt hatte, und die Lösung des Platin-Cäsium-Sulfür durch dasselbe mittelst eines parallelepipedischen Glaströgchens durchführte, zeigte sich die Oberfläche der Flüssigkeit in den zurückgeworfenen Farben wie folgt: Im Roth, Orange und Gelb nahezu mit den empfangenen Farben; von da an aber bis zum Violett grün und zwar um so dunkler, je weiter die Farbe gegen das Violett hinlag. Im Ueberviolett blieb alles schwarz.

Die Lösung mittelst eines reinen Malerpinsels auf einen weifsen Papierschirm in Form eines langen, schmalen Gürtels aufgetragen hinterliefs, als der Schwefelkohlenstoff verdunstet war, einen Streifen, der im Tageslicht gelbbraun erschien. Als diese gelbbraune Zone vom Sonnenspectrum beschienen war, konnte man sie erst vom Grün an bis zum Violett wahrnehmen, und zwar zeigte sie sich mit grünem Lichte, welches ebenfalls gegen das Violett hin stets dunkler wurde. Im Roth bis zu Ende des Gelb sah man nur die etwas dicker aufgetragenen Ränder des Bandes mit einer dunkeln, nicht bestimmbaren (schmutzig braunen) Farbe. Nach der Methode der durchsichtig farbigen Zwischenmittel geprüft, ergab sich bezüglich des in Rede stehenden Stoffes Folgendes: Der mittelst einer sechszölligen, doppeltconvexen Glaslinse in der Dunkelkammer erzeugte Lichtkegel drang tief in die Lösung ein, und war von *schwefelgelber* Farbe und nicht polarisirt. Als die lichteinlassende Oeffnung mit einem *rothen* Glase bedeckt wurde (»*erste Stellung*« des Glases), zeigte sich der in die zu prüfende Flüssigkeit eingetretene Lichtkegel *dunkelroth* und von geringer Tiefe. Das rothe Glas wurde hierauf vor das Auge genommen (»*zweite Stellung*« des Glases) und nach dem in der Lösung eingedrungenen, lichtgelben Sonnenlichtkegel hingesehen. Dieser erschien dann an der Oberfläche hellroth, wie glühend, und bot einen prächtigen Anblick.

Ein *dunkelgelbes* Glas als Zwischenmittel angewendet, zeigte den in die Flüssigkeit eingedrungenen Lichtkegel *schwach orange* bei der ersten Stellung, und *tiefgelb* bei der zweiten Stellung.

Ein *hellgelbes* Glas liefs den Lichtkegel für die erste Stellung *gelb* und für die zweite Stellung *heller gelb.*

Ein *grünes* Zwischenglas ergab bei der ersten Stellung *grüngelb*, ein *blaues* Glas gab *erbsengrün*, ein *violettes* Glas *mattgrün*. Die letzten drei Gläser ergaben in der zweiten Stellung beziehungsweise *intensivgrün, berlinerblau, schwach rosa.*

Flüssige Zwischenmittel wurden folgende angewendet: Die Lösung von doppeltchromsaurem Kali (dunkelgelb), von einfach chromsaurem Kali (hellgelb), von Kupferchlorid (grün) und schwefelsaurem Kupferoxyd-Ammoniak (tiefblau). Das Ergebnifs für beide Stellungen war fast so wie bei den gleichfarbigen Gläsern; nur in der Nüance der Färbungen war einiger Unterschied merklich.

Nun wurden mannigfache Verdünnungsgrade an der Lösung des Platin-Cäsium-Sulfür mittelst Schwefelkohlenstoff hervorgerufen. Die Flüssigkeit wurde mit dem Maafse der Verdünnung im durchgelassenen Tageslichie stets *heller braun*, im auffallenden Lichte ein *lichter Grün*; hierbei zeigte sich der Stoff ebenfalls als sehr empfindlich bezüglich der Fluorescenz. Mit den farbigen Zwischenmitteln untersucht ergaben die verdünnten Auflösungen nahezu das nämliche Resultat, wie die concentrirte Flüssigkeit; nur waren die Farben heller und minder kräftig bei jenen als bei letzterer.

Im Ganzen und Grofsen zeigt diese Lösung eine auffallende Aehnlichkeit bezüglich der Fluorescenz mit der syrupbraunen Naphtha aus Krasne in Galizien, auf deren Fluorescenz-Empfindlichkeit ich in meinem Schriftchen »die Fluorescenz des Lichtes« hingewiesen habe.

Es erübrigt nur noch einige Worte über die angewendeten Zwischenmittel zu sagen. Die flüssigen Zwischenstoffe waren die nämlichen, deren ich mich bei meinen früheren Fluorescenz-Studien bedient hatte. Ihre Eigenschaften bezüglich des Sonnenspectrums habe ich in dem angeführten Werkchen angegeben. Die Gläser hingegen waren andere als dort. Das *rothe* Glas hatte vom Sonnen-

spectrum die meisten grünen und fast alle gelben, blauen und violetten Strahlen zurückbehalten und das Roth und etwas Orange durchgelassen.

Die *gelben* Gläser liefsen fast alle Farben bis auf das Violett und einen Theil Blau durch; das *heller gelbe* Glas hatte die durchgelassenen Farben minder geschwächt als das dunkelgelbe Glas.

Das *grüne* Glas liefs etwas Roth, eine Spur von Orange, das Grün, etwas Blau und wenig Violett durch.

Das *blaue* Glas liefs etwas Dunkelroth, etwas Gelb und wenig Grün und fast alles Blau und Violett durch. Das Hellroth, Orange und Gelb waren mit schwarzen Gürteln bedeckt; ebenso zeigte sich zwischen Gelb und Grün ein schwarzer Gürtel. Eine sehr interessante Erscheinung.

Das violette Glas liefs einen grofsen Theil Roth, Grün und Violett durch.

Sowohl im gewöhnlichen Gaslichte als auch, wenn es mittelst der Brennlinse concentrirt wurde, zeigten sich die Lösungen des Platin-Cäsium-Sulfür als für die Fluorescenz empfindlich. Ihr Verhalten war beziehungsweise ähnlich dem im Tageslichte und beim Sonnenlichtkegel; aber die Farben viel schwächer. Diefs gilt auch für die Anwendung der farbigen Zwischenmittel bei Gaslicht. Selbst bei der schwach leuchtenden Weingeistflamme trat die Fluorescenz bei den concentrirteren Lösungen mit *grünem Lichte* noch deutlich auf und besonders kräftig, wenn eine Sammellinse angewendet wurde. Als der Docht der Weingeistflamme mit Kochsalz eingerieben worden war und man so nach Anzünden des Dochtes die gelbe Natronflamme hervorgerufen hatte, konnte man bei Beleuchtung der concentrirten Lösung dieselbe im reflectirten Lichte nur mit einer dunkeln Farbe (fast tiefdunkelbraun) wahrnehmen.

Zum Schlusse danke ich noch dem Hrn. Prof. Kletzinsky, durch den ich auf diese Fluorescenz aufmerksam gemacht wurde, und der mir das Präparat zu Gebote stellte.

XI. *Ueber Fluorescenz der Auszüge aus den verschiedenen Theilen der Pflanzen;* *von C. B. Greifs.*

Zweiter Artikel.

Unter obigem Titel habe ich im Jahre 1861 in dem 114ten Bande dieser Annalen S. 327 bis 333 eine Arbeit veröffentlicht, in welcher ich nachwies, dafs die Extracte aus den Blüthen, Blättern, der Rinde und dem Holze oder den Stengeln der verschiedensten Pflanzen fluorescirende Stoffe enthalten. Da ich damals meine Versuche noch nicht auf die Samen und Wurzeln ausgedehnt hatte, und doch nach den damals gewonnenen Resultaten eine gewisse Wahrscheinlichkeit vorlag, dafs wohl in allen Theilen der Pflanzen solche fluorescirende Stoffe vorhanden seyn möchten, so nahm ich in diesem Frühjahr meine Arbeit wieder auf. Ich hatte früher unterlassen, die extrahirenden Flüssigkeiten zuvor auf ihre Fluorescenz zu untersuchen, und holte deswegen jetzt diese Versäumnifs nach. In der That erhielt ich im Weingeist und im Aether, wenn ich die Sonnenstrahlen durch eine stark gekrümmte Convexlinse concentrirte, einen grauen, doch so äufserst schwachen Lichtkegel, dafs ich mich überzeugte, es könne durch denselben keine Irrung in den Beobachtungen herbeigeführt werden. In dem destillirten Wasser war dagegen natürlich keine Spur von einem Lichtkegel zu entdecken. Ich habe mich daher bei den folgenden Versuchen fast ausschliefslich des destillirten Wassers bedient, und nur wenn andere Umstände es erheischten, Alkohol oder Aether in Anwendung gebracht. Was nun zunächst die Samen betrifft, die selbstverständlich im zerquetschten Zustande extrahirt wurden, so wurden folgende einer Prüfung unterzogen: Bärlappsamen, Erbsen, Mohnsamen, Bohnen, Carottensamen, Samen von *Tropaeolum*, Kaffeebohnen, Stechapfelsamen, *nux vomica*, Hanfsamen, *semen Cubebae*, *Anacardia orientalis*,

semen Psylli, Cacaobohnen, *semen canariense*, *semen Sabadillae*, Pomeranzen, Pistacien, *semen Cumini*, Fenchelsamen, *fructus Amomi*, Lupulin, *faba Tongko*, *fructus Mezerei*, Senfsamen, *Conium*, *Secale cornutum*, *semen Lini*, *semen Staphidis agriae*, *fructus Juniperi* und *fructus Rhamni catarrthici*. Alle 31 Extracte ohne eine einzige Ausnahme zeigten einen farbigen Lichtkegel. Der grofsen Mehrzahl nach waren diese Lichtkegel grau oder blau oder zeigten eine Nüancirung dieser beiden Farben; Weifs oder weifs mit einer Nüancirung ins Bläuliche oder Röthliche waren die Lichtkegel bei dem Hanfsamen, den Cacaobohnen, dem *semen canariense*, den Pistacien, dem Fenchelsamen, *fructus Mezerei*, *Secale cornutum* und *semen Lini*; hellgrün bei *semen Sabadillae*, den Pomeranzen und dem *semen Cumini* und orangefarben bei der *faba Tongko*. Den intensivsten Lichtkegel und zwar von sehr schöner blauer Farbe gab der alkoholische Extract von Bärlappsamen. Der alkoholische Extract des Samens von *Tropaeolum* zeigte einen Lichtkegel in einer Mischfarbe, in welcher die Farben Blau und Roth deutlich zu unterscheiden waren. Die Flüssigkeit selbst war hellgrün gefärbt. Da diese Samen von einer verhältnifsmäfsig dicken Hülse umgeben sind, so nahm ich eine andere Quantität dieses Samens, trennte sorgfältig die Hülsen von den Kernen, und extrahirte nun die Hülsen besonders und auch die Kerne. Der ätherische Extract der ersteren war grün gefärbt, und zeigte sehr schön den rothen Kegel des Chlorophyll; wurden aber die letzteren mit Aether extrahirt, so war die Flüssigkeit fast farblos und zeigte einen graublauen Lichtkegel.

Von Wurzeln kamen zur Untersuchung folgende: holländische Crappwurzel, *radix Rhei*, *radix Liquiritiae*, *radix Curcumae*, *radix Ipecacuanhae*, *radix Inulae*, *radix Saponariae*, *radix Senagae*, *radix Taraxaci* und *radix Bryoniae*. Alle Wurzeln wurden in ganz kleine Stücke zerschnitten und mit destillirtem Wasser extrahirt. Auch alle diese Extracte waren ohne eine einzige Ausnahme fluorescirend, und zwar gab der Auszug aus der Crappwurzel einen

orangefarbenen, derjenige aus *radix Rhei* einen gelbgrünen, und derjenige aus *radix Curcumae* einen hellgrünen Lichtkegel, während wieder die Lichtkegel, welche in den übrigen Auszügen hervorgerufen wurden, grau oder blau waren. Da ich mit meinen Versuchen zu der Zeit beschäftigt war, in welcher die geschnittenen Weinreben thränen, so fing ich mir in einem Fläschchen eine hinreichende Menge des secernirten Pflanzensaftes auf. Aber auch in dieser Flüssigkeit erzeugten die durch eine Convexlinse concentrirten Sonnenstrahlen einen blauen Lichtkegel. Von anderen lebenden Pflanzen wufste ich mir keinen Pflanzensaft zu verschaffen. Mit Rücksicht aber darauf, dafs Opium sowohl, als auch die verschiedenen Harze ihre Entstehung Pflanzensäften verdanken, glaubte ich auch Körper dieser Klasse prüfen zu müssen. In dem Extract des Opium erhielt ich einen ganz hellgrünen Lichtkegel, in der Lösung des *Gummi arabicum* entstand ein intensiver bläulich-weifser Lichtkegel, in der festen Masse des Colophoniums und des Bernsteins waren die Lichtkegel grün, doch drangen sie nicht sehr tief in die Masse ein. Als das Colophonium zerstofsen und, mit destillirtem Wasser übergossen, einige Zeit lang stehen gelassen wurde, zeigte es einen grauen, und zerstofsener und mit Weingeist übergossener Bernstein einen blauen Lichtkegel.

Ich habe also bei allen untersuchten Körpern kein einziges negatives Resultat erhalten, und wenn ich meine in der früheren Abhandlung veröffentlichten Ergebnisse mit den hier beschriebenen zusammenstelle, und wenn darauf Rücksicht genommen wird, in welcher bunten Reihe die untersuchten Körper ausgewählt waren, so glaube ich den Satz aussprechen zu können: *Alle Theile aller Pflanzen enthalten fluorescirende Stoffe.* Es lag nun aber auch der weitere Gedanke nahe, ob diefs nicht auch der Fall sey bei allen organischen Körpern, zu deren Bildung der Pflanzenorganismus mitgewirkt hat. Auch nach dieser Seite hin habe ich eine grofse Reihe von Versuchen angestellt, deren Mittheilung vielleicht einiges Interesse haben dürfte. Bier

und Wein zeigten einen hellgrünen und Zuckerwasser einen blafsvioletten Lichtkegel, der aber bei Wein und bei Zuckerwasser verhältnifsmäfsig schwach war. In den Lösungen von Mannit sowohl, wie von Traubenzucker waren die entstehenden Lichtkegel blau. Amylum, in heifsem Wasser gelöst, fluorescirte bläulich-weifs, und Inulin, ebenso behandelt, grauweifs. Olivenöl giebt einen hellblauen, Terpentinöl, wenn wasserhell, einen grauen, aber wenn es schon harzig geworden ist, einen hellblauen, Wachholderöl einen schönen hellgrünen, Rübsamenöl einen blauen, Baumöl einen blafsvioletten, Bittermandelöl und *oleum Gaultheriae* einen gelbgrünen Lichtkegel. Vor allen Oelen aber zeichnet sich das Petroleum aus, das schon bei gewöhnlichem Tageslichte schön blau schillert, und wenn die Sonnenstrahlen durch eine Convexlinse in dasselbe concentrirt werden, einen prächtigen blauen Lichtkegel zeigt. Von Alkaloïden wurden geprüft: Coniin, Nicotin, Morphin, Salicin und Atropin. In den beiden ersten entstand ein schön gelbgrüner und ziemlich intensiver, in den drei letzten ein violetter Lichtkegel, der bei dem Salicin und Atrozin dazu noch sehr schwach war. Die Weinsteinsäure, Essigsäure, Ameisensäure, Bernsteinsäure und Propionsäure fluorescirten nur sehr schwach, die Citronensäure und die Valeriansäure gar nicht, dagegen zeichnete sich die Gallusgerbsäure durch einen intensiven weifsen Lichtkegel aus. Im Glycerin war der Kegel schön blau, im geschmolzenen Paraffin hellviolett und im Seifenwasser weifs. Während im Anilin ein blauer Lichtkegel entsteht, ist derselbe sowohl im Anilinroth wie im Anilinblau und im Anilinviolett orangefarben. Gleichfalls orangefarben war der Lichtkegel im Copalfirnifs und im flüssigen Leim. Auch noch bei folgenden Stoffen wurde Fluorescenz nachgewiesen: Kleesalz, Amyloxydhydrat, Kreosot, Aceton, Nitrobenzol, *aether hydrojodatum*, Oenanthäther und Bromamyl; bemerkenswerth war sie aber nur bei dem Oenanthäther, dessen blauer Lichtkegel ziemlich intensiv ist. Aufser den beiden schon angeführten Säuren, der Citronensäure und der Va-

leriansäure, die ein negatives Resultat gegeben hatten, konnte ich ferner bei den folgenden Körpern keine Spur von Fluorescenz nachweisen: Trimethylamin, Propylamin, Chloramyl, Iodmethyl, Iodallyl, Chlorelayl, Iodamyl, Essigäther, *aether hydrobromatum*, Holzgeist, Amylen, Benzol, Chloroform, buttersaures Aethyloxyd, baldriansaures Amyloxyd und ameisensaures Amyloxyd. Die Versuche haben demnach meine Vermuthung, es möchten auch alle organischen Körper, zu deren Bildung der Pflanzenorganismus mitgewirkt hat, fluorescirend seyn, keineswegs bestätigt. Aber dessenungeachtet geht eine gewisse Gesetzmäfsigkeit aus denselben hervor. Während bei einzelnen Reihen, z. B. bei den Oelen, den Alkaloïden, alle in Untersuchung gekommene Körper Fluorescenz zeigen, gehören sehr viele derjenigen Körper, bei welchen eine Fluorescenz nicht nachgewiesen werden konnte, der Alkoholreihe an.

Zum Schlusse sey es mir noch erlaubt einer einzeln stehenden Thatsache zu erwähnen. Als ich eine Anzahl durchsichtiger fester Körper ohne Erfolg auf Fluorescenz untersucht hatte, entdeckte ich zufällig in einem 1,5 Centim. dicken, farblosen, quadratförmigen Stück Spiegelglas einen schön grünen Lichtkegel. In allem übrigen Spiegelglas, dessen ich habhaft werden konnte, war ich nicht im Stande, denselben nachzuweisen, aufser in dem einen meiner beiden Crownglasprismen.

XII. *Ueber Erregung des Magnetismus durch Drehung; von C. B. Greifs.*

Auf einer kleinen Reise in diesem Frühjahr besuchte ich auch die Centralwerkstätte der Nassau'schen Staatsbahnen zu Limburg, weil ich von der vortrefflichen Einrichtung derselben schon so vieles gehört hatte. An den Drehbänken erregten die Drehspäne von Gufsstahl wegen ihrer vollkommenen Windung, so dafs sie ganz das Ansehen eines dünnen Seiles hatten, meine Aufmerksamkeit. Ich wurde durch dieselben auch an die schönen Resultate erinnert, welche vor mehreren Jahren Prof. Wiedemann bei seinen exacten Versuchen über die gegenseitige Einwirkung von Magnetismus und Torsion erzielt hatte. Da es bei den Versuchen Wiedemann's vorzugsweise darauf ankam, festzustellen, inwieweit der bereits vorhandene Magnetismus durch die Torsion oder die bereits vorhandene Torsion durch den Magnetismus verändert werde, so legte ich mir die Frage vor, ob nicht vielleicht durch Torsion die magnetische Polarität auch erst hervorgerufen werden könne. Ich untersuchte daher einen von Limburg mitgenommenen Drehspan von Gufsstahl und fand in der That, dafs er zwei bestimmt ausgesprochene magnetische Pole hatte. Daraufhin wandte ich mich, um den Gegenstand weiter verfolgen zu können, an den technischen Director der Staatsbahnen Hrn. Baurath Hilf, mit der Bitte, mir von Limburg eine gröfsere Anzahl von Drehspänen, und zwar nicht blofs von Gufsstahl, sondern auch von Puddelstahl und von weichem Eisen kommen zu lassen. Er willfahrte dieser Bitte mit der gröfsten Bereitwilligkeit, so dafs mir bald ein hinreichendes Untersuchungsmaterial zu Gebote stand. Ich erhielt 25 verschiedene Drehspäne. Alle zeigten sich bei der Untersuchung an einer ziemlich trägen Magnetnadel von nicht unbedeutender Masse polarmagnetisch, und nur bei einem einzigen mufste eine feinere Na-

del in Anwendung kommen, um seine Polarität ganz unzweideutig nachzuweisen. *Sie hatten also alle durch das Drehen permanenten Magnetismus erhalten, selbst diejenigen fünf unter ihnen, welche von weichem Eisen waren, dem doch weder durch das Bestreichen mit einem Magnete, noch durch den galvanischen Strom permanenter Magnetismus ertheilt werden kann.* Von den Eisenspänen wurde von einem, der 7 Fuſs lang war, ein zwei Fuſs langes Stück abgebrochen, und nun die beiden Theile untersucht. Sie zeigten sich beide als vollständige Magnete mit vollkommen ausgebildeten Polen, und verhielten sich gerade wie die Theile einer entzwei gebrochenen magnetisirten Stricknadel. Als hierauf auch ein Span von Puddelstahl entzwei gebrochen wurde, zeigte sich insofern ein Unterschied, als zwar die alten Pole in ihrer bisherigen Stärke blieben, die an der Bruchstelle neu auftretenden Pole aber verhältniſsmäſsig nur schwach ausgebildet waren. Von einem der Stücke wurde nun wieder ein Stückchen von nur zwei Windungen abgebrochen. Dieses noch nicht einen halben Zoll lange Stückchen hatte zu meiner Ueberraschung seine *beiden* Pole mindestens ebenso stark, wie sie an dem ursprünglich ganzen Span gewesen waren. Unter den Spänen von Guſsstahl ist einer 105 Fuſs lang von $2\frac{7}{8}$ Pfund Gewicht, der sich wie ein Seil in vielen Windungen aufwinden läſst. Es dürfte dieſs wohl der längste existirende Magnet seyn.

Mein nächstes Augenmerk richtete sich nun darauf, zu untersuchen, ob sich nicht ein bestimmtes Gesetz auffinden lasse, nach welchem man im Voraus bestimmen könnte, was für ein Pol an einem gegebenen Ende eines solchen Drehspans auftreten müsse. Ich vermuthete zuerst, es möchten wohl, wenn man das Ende, wo der Nordpol, oder dasjenige, wo der Südpol auftritt, bei allen Drähten die Windungen beziehungsweise nach derselben Richtung verlaufen, so daſs sich hier etwas Aehnliches herausstellen würde, wie bei den nach Ampère's Theorie die Magnete umkreisenden galvanischen Strömen. Es zeigte sich aber gar bald, daſs diese Voraussetzung eine irrige war. An

dem einen Nordpol verliefen die Windungen in der Richtung, in welcher sich der Zeiger einer Uhr bewegt, an einem anderen gerade in der entgegengesetzten Richtung. Ich wurde dann auf einen andern Umstand aufmerksam; ich fand nämlich, dafs die gewundenen Streifen alle auf der einen Seite einen scharfen Rand hatten, aber auf der entgegengesetzten Seite mehr oder weniger gezackt waren. Der scharfe Rand entsteht offenbar da, wo der Meisel der Drehbank an dem abzudrehenden Eisen oder Stahl angreift, so dafs sich bei jedem Span mit Leichtigkeit beurtheilen läfst, wo die Drehung angefangen, und wo sie aufgehört hat. *Mit Beachtung dieses Umstandes zeigte sich nun, dafs bei allen Drehspänen ohne Ausnahme da, wo die Drehung angefangen hatte, der Südpol, und da, wo die Drehung aufgehört hatte, der Nordpol entstanden war.*

Es war mir endlich auch noch aufgefallen, dafs bei fünf bis sechs der untersuchten Drehspäne der auftretende Magnetismus im Verhältnifs zu demjenigen der übrigen nur schwach war. Ich überzeugte mich bald, dafs diese Erscheinung weder in der Länge der Späne, noch in dem Umstand, ob ein Span von Gufsstahl, Puddelstahl oder weichem Eisen war, ihre Erklärung fand. Da nun, wie schon bemerkt, die Windungen nicht bei allen Drehspänen nach derselben Richtung verliefen, so untersuchte ich, ob vielleicht diesem Unterschiede die beobachtete verschiedene Stärke des auftretenden Magnetismus zuzuschreiben sey. *Und in der That zeigten alle Drehspäne, deren Windungen, vom Südpol aus gesehen, in entgegengesetzter Richtung verlaufen, wie die Zeiger einer Uhr sich bewegen, einen bedeutend stärkeren Magnetismus, als die übrigen, deren Windungen, vom Südpol aus betrachtet, in ihrer Richtung mit der Bewegung des Uhrzeigers übereinstimmten.*

XIII. *Ueber den Einflufs der Temperatur auf die Doppelbrechung; von Dr. Fr. Pfaff in Erlangen.*

Bekanntlich war es bisher nicht gelungen an den Krystallen des rhombischen Systems und an den optisch einaxigen eine Veränderung der Doppelbrechung durch Temperaturveränderung nachzuweisen, obwohl die grofse Empfindlichkeit der übrigen Krystalle mit Doppelbrechung gegen Temperaturwechsel eine solche erwarten liefs. Auch die feinsten Messungen an den Ringsystemen der Krystallplatten im polarisirten Lichte liefsen keine Spur von Enger- oder Weiterwerden erkennen, wenn man die Krystalle erhitzte.

Neuerdings hat nun Fizeau durch Beobachtung der Beugungserscheinungen des Lichtes am Kalkspath und Bergkrystall die Veränderungen des Brechungsindex beider Strahlen durch Temperaturänderung nachgewiesen, und derartige weitere Versuche in Aussicht gestellt[1]). Diefs brachte mir wieder Versuche ins Gedächtnifs, die ich in derselben Beziehung vor zwei Jahren angestellt und hier in der physikalisch-medicinischen Societät mitgetheilt hatte. Aus Mangel an Mefsinstrumenten konnte ich das von Fizeau angewandte Verfahren nicht benutzen; durch ein anderes war es mir aber möglich, sehr leicht die Veränderungen nachzuweisen, die mit wechselnder Temperatur an optisch einaxigen Krystallen sich bemerklich machen. Da dieses Verfahren erlaubt, sehr leicht diese Aenderungen wahrzunehmen, so glaube ich, möchte es der Veröffentlichung werth seyn. Es liegt der Gedanke nahe, dafs man Platten senkrecht zur Axe geschliffen, in der ungünstigsten Lage untersucht, wenn man eine Veränderung der Brechungsverhältnisse finden will. Die Strahlen machen ja hier nur geringe Winkel mit der optischen Axe, ihre Differenz kann daher auch nur eine geringe seyn. Anders verhält es sich, wenn man parallel der Axe geschliffene Platten untersucht, hier findet sich das Maximum der Differenz der beiden

1) Ann. Bd. 119, S. 87 u. 297.

Strahlen. Ich schliff daher Platten keilförmig parallel der Hauptaxe und konnte an diesen nun sehr leicht eine Veränderung der Streifen im polarisirtem Lichte erkennen.

Ich brachte sie zu diesem Behufe auf den gewöhnlichen Nörrenberg'schen Polarisationsapparat, bemerkte mir den Stand der dunklen Streifen in homogenem Lichte und erwärmte die Platte dann auf dem Tischchen selbst unmittelbar oder in einem Gefäfs von Glas mit ebenem Boden, in das Wasser gebracht wurde. Bei keinem Keile blieben die Streifen ohne Lageveränderung, alle zeigten eine zum Theil sehr beträchtliche Verrückung derselben.

Ich habe Untersuchungen an Vesuvian, Beryll, Apatit, Quarz, Zinnstein, Honigstein und Kalkspath von optisch einaxigen Krystallen, an Aragonit, Topas, Glimmer und Gyps von optisch zweiaxigen angestellt.

Die drei erst genannten sind optisch negativ; sie zeigen auch sämmtlich das gleiche Verhalten, nämlich mit der Temperatur-Erhöhung ein *Herabrücken der Streifen vom dickeren gegen das dünnere Ende der Platte.* Man könnte diefs vielleicht als eine nothwendige Folge des Dickerwerdens der Platte durch die Wärmeausdehnung ansehen wollen, allein die letztere steht in gar keinem Verhältnifs zur Gröfse der Lageveränderung der Streifen. Da ich für die fraglichen Krystalle schon früher die Ausdehnung durch Wärme bestimmt hatte [1]), so war es leicht, zu berechnen, um wieviel die Streifen hätten herabrücken dürfen, um an eine Stelle zu gelangen, die gleich dick durch die Wärmeausdehnung geworden war, wie diejenige, an welcher vor dieser der Streifen erschien. Ich will hier nur erwähnen, dafs an meiner Vesuvianplatte das Herabrücken durch eine Temperaturerhöhung von 300° C. nur $0^{mm},03$ hätte betragen dürfen, während es in der That 1^{mm} ausmachte.

Es geht daraus also hervor, dafs durch die Erwärmung *die Differenz in der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der beiden Strahlen in diesen optisch negativen Krystallen gröfser* wird. Es findet aber auch das Gegentheil statt, nämlich

1) Diese Annalen Bd. 107, S. 148.

eine *Verringerung der Differenz der beiden Strahlen* und zwar bei einem *optisch-positiven* Krystalle, dem Quarz. Eine keilförmige Platte dieses Minerals zeigte sehr deutlich ein Hinaufrücken der Streifen vom dünneren gegen das dickere Ende.

Leider führten ähnliche Versuche mit anderen positiven Krystallen zu keinem Resultate. Von Zirkon ist es nicht möglich so feine Keile zu schleifen, dafs noch Streifen sichtbar werden, weil die Differenz der beiden Strahlen zu grofs ist. Mit dem Zinnstein mufs es sich ebenso verhalten, es gelang mir nicht an einem ganz dünnen Plättchen Streifen zu erhalten; Apophyllit, der sich wohl dazu eignen würde, blätterte sich beim Schleifen so stark, dafs ich keinen Keil erhielt, der breit genug zur Beobachtung gewesen wäre.

Wie Quarz verhielten sich noch von optisch zweiaxigen Krystallen Glimmer und Gyps. Ein keilförmig geschliffenes Stück Topas (die eine Fläche war eine natürliche Spaltungsfläche) verhielt sich wie die optisch negativen. Der Topas scheint unter den von mir bisher untersuchten Krystallen der gegen die Temperaturveränderungen empfindlichste; legt man ein Stück von ihm auf das Tischchen des Polarisationsapparates und fährt nur einmal mit einer Weingeistlampe unter ihm weg, so wird man sogleich eine Veränderung der Farben wahrnehmen. Er möchte sich wohl am besten, nächst dem Vesuvian, von optisch einaxigen Krystallen zur Demonstration dieser Verhältnisse eignen.

Dafs beide Strahlen, der aufserordentliche wie der ordentliche, eine Veränderung der Brechung erleiden, geht aus diesen Versuchen nicht hervor; ich konnte sie aber ebenfalls ohne Mefsinstrumente nachweisen, indem ich die beiden Spectren eines Quarzprismas auf einen Schirm von Strohpapier auffing und die Lage der verschiedenen Farben vor und nach dem Erhitzen bezeichnete. Beim Kalkspath konnte ich es auch dadurch, dafs ich ein Spaltungsstück auf ein Stanniolplättchen mit sehr feiner Oeffnung

legte und unter einem Oberhäuser'schen Mikroskop vor und nach dem Erwärmen die Lage der beiden Oeffnungen betrachtete. Es war eine Verrückung beider noch zu erkennen.

Es schien mir auch wichtig, zu vergleichen, wie sich die Veränderung durch Druck gegen die durch Temperaturerhöhung erzeugte verhielte. Leider konnte ich hier keine Keile anwenden und mufste meine Zuflucht wieder zu Platten senkrecht zur Axe geschliffen nehmen. Ich prefste nun dieselben möglichst stark zwischen zwei eisernen in der Mitte mit einer feinen Oeffnung versehenen Platten. In der oberen war das durchbohrte Plättchen in der Mitte so angebracht, dafs es sich um eine horizontale Axe in einem Ringe und dieser wieder in der äufseren Platte um eine auf der Axe des innern durchbohrten Plättchens senkrecht stehenden zweiten horizontalen Axe drehen konnte, um stets ein genaues Aufliegen der pressenden Platte auf beiden Krystallflächen zu erzielen.

Obwohl ich nun den Druck bis zum Zersprengen der Platten fortsetzte, gelang es mir jedoch nicht ein Resultat zu erhalten, aufser bei Quarz und Kalkspath, was aber für die gestellte Frage keinen Aufschlufs giebt. Der Quarz und der Kalkspath zeigten nämlich merkwürdigerweise beim Druck von oben ein ähnliches Verhalten wie bei seitlichem Drucke (wie ich es früher in diesen Annal. Bd. 107, S. 333 beschrieben). Das Ringsystem des Quarzes löste sich in zwei auf, ähnlich denen eines 2axigen Systems, und der Kalkspath zeigte in den zersprengten Stücken bleibend die Erscheinungen, wie sie Dove an Zwillingskrystallen zuerst geschildert und ich sie später durch seitlichen Druck auf einfache Krystalle erhalten hatte. An allen übrigen Krystallen konnte ich keine Veränderung der Ringsysteme bei Druck wahrnehmen.

Der einzige Krystall, dessen Keile auch bei einiger Dicke noch Streifen zeigten, ist der Vesuvian; als ich einen solchen seitlich prefste, in der Richtung der Streifen, die parallel den Nebenaxen liefen, rückten dieselben ein wenig

nach dem dünneren Ende zu. Der Seitendruck bewirkte also dasselbe, was die Steigerung der Temperatur verursachte, nämlich eine Verringerung in der Differenz der beiden Strahlen, ein Resultat, welches zusammengehalten mit der Thatsache, dafs beide Strahlen eine Veränderung der Brechung erleiden, erkennen läfst, dafs die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des aufserordentlichen Strahles in diesem Falle also sowie die Elasticität des Aethers in der Richtung der Hauptmasse, durch Druck senkrecht auf die Hauptaxe in etwas beträchtlicherem Grade verringert wird, als die des ordentlichen Strahles.

XIV. *Ueber die doppeltbrechenden Eigenschaften und die Krystallform des Amblygonits; von Des Cloiseaux.*

(Mitgetheilt vom Hrn. Verf. aus d. *Compt. rend.*)

Der Amblygonit, eine sehr seltene Mineralspecies, ist bis in die letzten Jahre nur in der Umgegend von Penig in Sachsen in kleinen Massen oder Nieren eingewachsen in Granit, in violetten Lepidolith, mit Quarz, Turmalin und Granat vorgekommen. Neuerlich hat Hr. Brush [1]) veröffentlicht, dafs man ihn auch in einer ganz ähnlichen Lagerstätte bei Hebron, Staat Maine, angetroffen habe, in ganz oder halb durchsichtigen lamellaren, violetten Lepidolith durchsetzenden Massen, begleitet von Albit, Quarz, rothen, grünen und schwarzen Turmalinen, Cassiterit und Apatit.

Nach Hrn. Breithaupt besitzt der Amblygonit von Penig zwei ziemlich leichte, um 106° 10′ gegen einander geneigte Spaltungsflächen und eine dritte schwierigere, welche die scharfe Kante der beiden ersteren tangirt und mit jeder derselben einen Winkel von 126° 55′ macht. An

1) *Journ. of Sciences and Arts Vol. XXXIV, Sept.* 1862.

zwei Exemplaren von Hebron, die Prof. Brush mir gütigst zusandte, beobachtete ich die beiden, einander unter 105 bis 106° schneidender Spaltungsflächen, konnte aber nicht die dritte in der von Hrn. Breithaupt angegebenen Richtung wahrnehmen.

Bisher hat man allgemein geglaubt, es sey die Krystallform des Minerals ein gerades oder schiefes Rhombenprisma, nach dessen Verticalflächen die beiden leichten Spaltbarkeiten lägen; allein das Studium seiner optischen Eigenschaften erlaubt diese Meinung nicht, sondern beweist, dafs der Krystalltypus in Wirklichkeit das doppelt schiefe Prisma ist. In der That bemerkt man bei aufmerksamer Untersuchung der Exemplare von Hebron, dafs die beiden Hauptspaltbarkeiten nicht gleich leicht sind, sondern dafs die eine grofse Flächen von Perlmutterglanz liefert, während die andere kleinere Flächen von Glasglanz darbietet. Ueberdiefs findet man eine dritte, unterbrochene Spaltbarkeit, die indefs kleine hinreichend ebene und spiegelnde Flächen liefert, um für das Reflexionsgoniometer brauchbar zu seyn.

Wenn man eine dem glasigen Blätterdurchgang parallele Lamelle hinreichend dünn macht, so erblickt man mit Hülfe des polarisirenden Mikroskops isochromatische Curven, die zwei sehr divergirende optische Axen anzeigen, in einer Ebene, welche fast strenge normal auf dem Blätterdurchgang und parallel der Durchschnittskante dieses und des perlmuttrigen Blätterdurchgangs liegt. In Oel beobachtet zeigen diese Ringe zugleich die Kennzeichen der *gekreuzten* und der *geneigten* Dispersion; denn wenn die Ebene der Axen mit der Polarisationsebene zusammenfällt, so zeigen die Streifen, welche jedes der beiden Ringsysteme durchsetzen, blaue und rothe Säume in entgegengesetzter Lagerung und diese Farben sind in dem einen Systeme offenbar lebhafter als in dem anderen. Bei 45° der Polarisationsebene zeigen die Farben, welche die beiden Hyperbeln umsäumen, eine symmetrische Anordnung, aber eine verschiedene Intensität, und der Durchmesser der

Ringe ist auf der einen Seite etwas gröfser als auf der anderen. Die Messung der Divergenz in Oel beweist, dafs die Dispersion der optischen Axen schwach ist; sie gab mir

$$
\begin{aligned}
2H &= 106^\circ\ 31'\ 30'' \text{ roth} \\
&= 106\ \ 19\ \ 30 \text{ gelb} \\
&= 106\ \ \ 6\ \ 30 \text{ blau.}
\end{aligned}
$$

Dieser Winkel ist der stumpfe, den die optischen Axen in Oel machen, und seine Mittellinie ist *positiv*.

Eine winkelrecht zur Durchschnittskante der beiden Haupt-Blätterdurchgänge geschnittene Platte, die bei Compensation mit einer Quarzplatte den *negativen* Charakter darbot, lieferte für den scharfen Winkel der Axen, gesehen in Oel:

$$
\begin{aligned}
2H &= 96^\circ\ 37'\ 33'' \text{ roth} \\
&= 96\ \ 46 \qquad \text{ gelb} \\
&= 96\ \ 10\ \ 30 \text{ blau.}
\end{aligned}
$$

Ist die Ebene der Axen parallel der Polarisations-Ebene, so läfst diese Platte eine ziemlich starke *horizontale* Dispersion sehen, modificirt durch eine *geneigte* Dispersion, welche einen sehr merkbaren Unterschied in der Lebhaftigkeit der Farben ober- und unterhalb der Querstreifen beider Ringsysteme herbeiführt.

Da die beiden zu meinen Messungen gebrauchten Platten gut winkelrecht auf den beiden Mittellinien sind, so kann man sie, ohne grofsen Fehler zu befürchten, zu dem Verfahren anwenden, welches ich in einer früheren Mittheilung angegeben habe [1]) und kann daraus für die wahre Divergenz der optischen Axen und für den mittleren Index (den Index des Oels für roth = 1,466, für gelb = 1,468, für blau = 1,478) folgende Werthe ableiten.

$$
\begin{aligned}
2V &= 85^\circ\ 56' \qquad & \beta &= 1,606 \text{ roth} \\
&= 86\ \ \ 6 & &= 1,608 \text{ gelb} \\
&= 86\ \ 22 & &= 1,619 \text{ blau.}
\end{aligned}
$$

Einigen Versuchen mit der Varietät von Penig zufolge, schien mir dieselbe die nämlichen doppeltbrechenden Eigenschaften darzubieten wie die von Amerika.

1) *Compt rend.* 1861, *T. LII*, *p.* 784.

Was die Grundform des Amblygonits betrifft, so ist sie nach der Untersuchung der Varietäten von Hebron als ein schiefes Parallelepipedon $\frac{p}{mt}$ zu betrachten, dessen Neigungen sind:

$$mt = 135^{\circ}$$
$$pm = 105^{\circ} \text{ nach vorne}$$
$$pt = 88^{\circ}\,30' \text{ nach vorne}$$

Ebener	Winkel der	Base	$= 137^{\circ}\ 40'\ 22''$
do.	do.	Fläche *m*	$= 72\ \ 9\ \ 54$
do.	do.	Fläche *t*	$= 113\ \ 6$

Parallel der Base *p* findet sich der leichtere Blätterdurchgang mit Perlmutterglanz, parallel der linken Fläche *m* der weniger leichte Blätterdurchgang mit Glasglanz, und parallel der rechten Fläche *t* ein schwieriger und unterbrochener Blätterdurchgang. Fügt man zu diesen drei Blätterdurchgängen denjenigen, welchen Hr. Breithaupt an den Exemplaren von Penig in der Zone *pm* angiebt, und für welchen man eine Neigung von etwa 127° gegen *p* und eine von 128° gegen das hintere *m* mit dem Symbol $c\frac{1}{2}$ annehmen kann; betrachtet überdieſs als parallel der kleinen Diagonale der Base einen sehr schwierigen Blätterdurchgang, von dem ich nur Spuren in der Zone *mt* wahrnahm, und der mit *m* einen Winkel von nahe 126° macht; — so hat man die erforderlichen Elemente um die relativen Längen der drei Kanten des primitiven Parallelepipedums zu bestimmen. Diese Längen wären:

$$b : c : h = 1000 : 1179{,}743 : 1433{,}768$$

woraus das linke $pg' = 113^{\circ}\,2'$.

Zusammengefaſst erlauben also meine Beobachtungen folgende Thatsachen festzustellen:

Der Amblygonit

$$[\dddot{Al}_5\,\overset{\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot}{P}_3 + (\dot{Li}, \dot{Na})_5\,\overset{\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot}{P}_3 + Al_2\,Fl_3 + (Li, Na)\,Fl]$$

krystallisirt im System des doppelt schiefen Prismas.

Er besitzt drei ungleich leichte Spaltbarkeiten parallel den Flächen des primitiven Parallelepipeds und einander

schneidend unter Winkeln von etwa 135°, 105° und 88° 30'.

Die optischen Axen sind sehr divergent; ihre Ebene ist beinahe winkelrecht zu dem mäfsig leichten Blätterdurchgang von Glasglanz. Die Mittellinie ihres scharfen Winkels ist *negativ* und parallel der Durchschnittskante des perlmuttrigen und des glasigen Blätterdurchgangs; ringsum diese Mittellinie zeigen die Ringe eine *horizontale* Dispersion, combinirt mit einer sehr beträchtlichen *geneigten* [1]).

XV. *Notiz über die Krystallform des Wiserins; von Prof. G. vom Rath.*

Die interessanten Mittheilungen des Hrn. Prof. Kenngott über das neue, von ihm Wiserin (zu Ehren des Hrn. D. F. Wiser in Zürich) genannte Mineral vom St. Gotthardt (s. Neues Jahrb. f. Min. von Leonhard und Geinitz, 1864, S. 454 bis 456) erlaube ich mir durch Angabe der an diesem Mineral ausgeführten Messungen, welche für die Stellung desselben im krystallochemischen Mineralsystem nothwendig erschienen, zu ergänzen. Hr. Dr. Krantz hatte die Güte, von dem Handstücke, welches ich bereits in einer früheren Arbeit (Zeitschr. deutsch. geol. Ges. 1862, S. 379 Anmerk.) erwähnte, einen der drei kleinen aufsitzenden Krystalle abzulösen, und behufs der Messung mir zu übergeben.

Der Krystall stellte die Combination des Octaëders mit dem ersten quadratischen Prisma dar. Die Flächen erlau-

1) Ein Brief von Hrn. Brush belehrt mich, dafs einer seiner Assistenten, Hr Allen, ganz kürzlich zu Hebron einen Krystall von einem Zoll im Durchmesser gefunden, und Hr. Dana daran den triklinischen Charakter ganz unzweideutig erkannt hat.

ben ziemlich genaue Messungen. Es beträgt der Endkantenwinkel des Octaëders

124° 30',

daraus das Axen-Verhältnifs *a* (Nebenaxe) : *c* (Verticalaxe) =

1 : 0,5261 oder 1,9008 : 1.

Ferner berechnet sich die

Seitenkante der Grundform	= 82° 22'	
Combinationskante zwischen der Grundform und dem ersten Prisma	= 131° 11'	gemessen: 131° 12'
Neigung zweier in der Endkante gegenüberliegender Flächen der Grundform	= 97° 38'	gemessen: 97° 36'.

Aus diesen Messungen folgt, dafs der Wiserin in den Winkeln zwar nicht vollkommen mit dem Zirkon übereinstimmt, aber doch demselben so nahe kommt, dafs beide als isomorph betrachtet werden müssen, eine Thatsache, welche auch durch das äufsere Ansehen und die Ausbildungsweise des Wiserins in hohem Grade bestätigt wird.

Nachdem Deville gefunden, dafs in dem Chlorzirkonium zwei Doppel-Atome Chlor vorhanden sind, folgerte bekanntlich G. Rose (s. Ueber die Isomorphie der Zinnsäure, Kieselsäure und Zirkonsäure, diese Annalen 1859, Bd. 107, S. 602 bis 604), dafs die Zirkonerde nach der Formel $\ddot{Zr}$ und nicht wie man früher annahm $\dddot{\mathrm{Zr}}$, zusammengesetzt sey; woraus sich der weitere Schlufs ergab, dafs der Zirkon eine isomorphe Mischung von 1 At. Kieselsäure mit 1 At. Zirkonsäure darstellt. Bei dieser Ansicht wurde mit Einem Male die Isomorphie des Zinnsteins und des Rutils mit dem Zirkon verständlich. Sie bilden isomorphe Species derselben Mineralgattung, zu der auch der Wiserin gehört, in welchem die Löthrohr-Versuche Wiser's und Kenngott's Titansäure und Kieselsäure nachgewiesen haben, und welcher vermuthlich eine Mischung der drei isomorphen Säuren des Titans, des Zirkoniums, des Kiesels ist. Es beträgt der Endkantenwinkel der Grundform beim

Zinnstein	$\ddot{Sn}$	121° 40′
Auerbachit	$\ddot{Zr}\,\ddot{Si}^{\frac{3}{2}}$	122 43′
Rutil	$\ddot{Ti}$	123° 8′
Zirkon	$\ddot{Zr}\,\ddot{Si}$	123° 19½′
Wiserin	($\ddot{Ti}\,\ddot{Zr}\,\ddot{Si}$?)	124° 30′
Malakon[1]	($3\,\ddot{Zr}\,\ddot{Si} + \dot{H}$?)	124° 40′.

Diese Zahlen zeigen, dafs der Zinnsäure das spitzeste Octaëder unter diesen isomorphen Mineralspecies zukommt; das Octaëder der reinen Titansäure ist erheblich stumpfer. Weder von der reinen Zirkonsäure noch von der Kieselsäure kennt man die quadratische Form. Eine Vergleichung der Winkel des Auerbachits mit denjenigen des Zirkons lehrt indefs, dafs der Kieselsäure ein spitzeres Octaëder zukommen müsse als der Zirkonsäure. Da nun der Wiserin ein sehr stumpfes Octaëder besitzt, so ist vielleicht die Vermuthung nicht ganz unbegründet, dafs derselbe viel Titan- und Zirkonsäure, weniger Kieselsäure enthalte. G. Rose (a. a. O.) sagt, »die Unterschiede die man im spec. Gewichte des Zirkons gefunden hat, können davon herrühren, dafs bei ihm nicht überall Zirkonsäure und Kieselsäure in einem gleichen Verhältnifs enthalten sind, vielleicht aber auch daher, dafs in einigen noch Titansäure, oder wie Svanberg gefunden hat, Norerde enthalten ist. Im Oerstedtit giebt Oerstedt neben der Zirkonsäure und Kieselsäure noch Titansäure an.«

Der Wiserin unterscheidet sich von dem echten Zirkon durch das von Wiser und Kenngott ermittelte Verhalten vor dem Löthrohre, nämlich durch die Titan-Reaction, durch die, von Kenngott angegebene, geringere Härte, durch die etwas stumpfere Grundform. Im Uebrigen steht er in Bezug auf das äufsere Ansehen, und namentlich durch die fehlende Zwillingsbildung dem Zirkon viel näher als

1) Die kleinen Krystalle aus dem Schriftgranit von Chantelonbe (Hte Vienne) von Des Cloizeaux gemessen.

dem Zinnstein oder dem Rutil, die specifische Selbstständigkeit des Wiserins im krystallo-chemischen Mineralsystem hängt ab von dem Resultat einer quantitativen Analyse, der man mit gröfstem Interesse entgegensehen mufs; zu welcher das Material nur in Zürich vorhanden ist.

Hr. Wiser besitzt von diesem neuen Mineral eine ausgezeichnete Reihe. Derselbe machte mich aufmerksam auf das stete Zusammenvorkommen des Wiserins mit dem Titansäure-haltigen Eisenglanz.

XVI. *Ueber den Siedpunkt einiger binären Gemische von Flüssigkeiten, die einander in allen Verhältnissen lösen.*

Solche Gemische haben, wie schon Hr. Regnault gezeigt (*Mém. de l'acad. d. scienc. T. XXVI*), einen constanten Siedpunkt. Neue Belege dafür liefert Hr. Alluard (*Compt. rend. T. LVIII, p.* 82) durch folgende Resultate:

Grammen.		Gewichts-verhältnifs.	Siedpunkt Druck 730mm	Siedpunkt Druck 760mm	Temperatur-Unterschied
Aether	Schwefelkohlenstoff				
Aether allein			34°,4 C.	35°,5 C.	1°,1
150,00	300	2,0	36 ,4	38 ,0	1 ,6
78,95	300	3,8	38 ,2	39 ,8	1 ,6
55,55	300	5,4	39 ,8	41 ,7	1 ,9
30,00	300	10,0	41 ,1	43 ,0	1 ,9
15,00	300	20,0	43 ,0	45 ,5	2 ,5
Schwefelkohlenstoff allein			44 ,9	47 ,7	2 ,8
Schwefelkohlenstoff	Alkohol				
do. allein			44°,7	47°,7	3°,00
150,0	300	2	46 ,10	48 ,1	2 ,00
75,0	300	4	49 ,10	51 ,0	1 ,90
60,0	300	5	55 ,10	57 ,2	2 ,10

Grammen.		Gewichts-verhältnifs.	Siedpunkt Druck 730mm	Druck 760mm	Temperatur-Unterschied.
Schwefel-kohlenstoff	Alkohol				
50,0	300	6	59°,10	61°,0	2°,10
37,5	300	8	62 ,10	64 ,0	2 ,10
25,0	300	12	65 ,70	67 ,5	1 ,80
15,0	300	20	70 ,00	71 ,5	1 ,50
10,0	300	30	72 ,60	74 ,1	1 ,50
5,0	300	60	75 ,50	77 ,0	1 ,50
Alkohol allein			77 ,06	78 ,5	1 ,54
Alkohol	Wasser				
do. allein			77°,50	78°,50	1°,00
300	450	1,5	81 ,85	82 ,85	1 ,00
300	900	3,0	83 ,10	84 ,05	0 ,95
200	1000	5,0	85 ,20	86 ,20	1 ,00
125	1000	8,0	86 ,20	87 ,25	1 ,05
100	1000	10,0	88 ,90	89 ,90	1 ,00
50	1000	20,0	92 ,20	93 ,20	1 ,00
60	1800	30,0	93 ,35	94 ,45	1 ,15
15	900	60,0	96 ,10	97 ,20	1 ,10
Wasser allein			99 ,00	100 ,00	1 ,00

Hr. A. bemerkt, dafs, wie er zu seinem Erstaunen gefunden, der Aether durch eine Beimischung von 0,1 seines Gewichts an Schwefelkohlenstoff seinen Siedpunkt nicht ändert, und das ähnliche Gemische von Alkohol und Schwefelkohlenstoff, von Alkohol und Wasser sich ebenso verhalten. Er schliefst daraus, dafs der Siedpunkt ein schlechtes Kennzeichen zur Erkennung der Reinheit einer Flüssigkeit sey. Er empfiehlt daher für solche Fälle das von Regnault angewandte Verfahren (*Mém. de l'acad. T. XXVI, p.* 644), darin bestehend, dafs man die Spannkraft des Dampfs der für rein gehaltenen Flüssigkeit successiv nach der statischen und der dynamischen Methode bestimme. Auf solche Weise erkannte Hr. R. noch ein Tausendstel einer flüchtigen Substanz, die dem Alkohol oder dem Schwefelkohlenstoff zugefügt worden war.

Hr. A. schliefst ferner, in Uebereinstimmung mit älteren Versuchen, namentlich mit denen von Berthelot (*Compt. rend. T. LVII, p.* 430), dafs es zuweilen unmög-

lich ist, zwei gemischte Flüssigkeiten durch Destillation von einander zu trennen, wenn das Gemisch nur einige Hundertel oder selbst ein Zehntel von einer der Flüssigkeiten enthält, indem das Gemisch denselben Siedpunkt hat wie die in gröfserer Menge vorhandene Flüssigkeit.

XVII. *Farbenveränderung eines Minerals bei starker Erhitzung.*

An einem Thone oder Steinmark, aus *Santa-Fé de Bogota* herstammend und im *Muséum d'histoire naturelle* zu Paris aufbewahrt, beobachtete Hr. Jannettaz, dafs die schön grüne Farbe desselben bei *starker* Erhitzung in eine weifse, schwach violette übergeht. Er analysirte es daher, und fand darin: 44,75 Kieselerde, 39,97 Thonerde, 0,60 Chromsesquioxyd, 1,10 Eisenoxydul, 1,16 Bittererde, 1,74 Kalk, 1,02 Kali, 5,00 Natron und 5,00 Wasser. Nach diesem Resultat glaubt er, dafs das Chromoxyd, welches offenbar die grüne Farbe des Minerals im natürlichen Zustand bedingt, bei starker Erhitzung eine neue Verbindung mit der Thonerde eingehe, und die Entfärbung nicht herrühre von Zerstörung einer organischen Substanz, welche Lewy im Smaragd von *Santa-Fé de Bogota* annehmen zu können glaubte [1]. (*Compt. rend. LVIII*, 719.)

1) Vergl. Ann. Bd. 122, S. 492.

Gedruckt bei A. W. Schade in Berlin, Stallschreiberstr. 47.

1864. ANNALEN №. 10.
DER PHYSIK UND CHEMIE.
BAND CXXIII.

I. *Untersuchung über die Wärme-Entwickelung galvanischer Inductionsströme und das Verhältniſs dieser Entwickelung zu der dabei verbrauchten Arbeit;* von *Er. Edlund.*

1. Wenn ein geschlossener Leiter in die Nähe eines galvanischen Stromes gebracht wird, so entsteht in jenem ein Inductionsstrom, welcher eine derartige Richtung bekommt, daſs eine Repulsion zwischen beiden stattfindet. Wird dagegen der Leiter von dem galvanischen Strom entfernt, so erhält der Inductionsstrom eine dem vorigen entgegengesetzte Richtung, wodurch eine Attraction zwischen beiden Strömen erfolgt. Die Induction ist somit in beiden Fällen von einem Verbrauche mechanischer Arbeit begleitet. Wird aber die galvanische Induction durch eine Intensitätsveränderung in der inducirenden Stromstärke verursacht, ohne daſs dabei die beiden Stromleiter ihre Lage relativ zu einander verändern, so entsteht kein Verlust an mechanischer Arbeit. Die beiden genannten Inductionsarten sind demnach in dieser Beziehung einander ungleich. Beim ersten Anblick scheint es, daſs eine Annäherung beider Ströme dieselbe Wirkung erzeugen müsse, als eine Vergröſserung der inducirenden Stromstärke, und daſs die Entfernung der Stromleiter von einander gleichbedeutend seyn müsse mit einer Verminderung der inducirenden Stromstärke, weil durch die Annäherung des Inductionsleiters an den inducirenden Strom, oder durch die Entfernung von demselben in der That nichts als eine gröſsere oder kleinere Einwirkung des inducirenden Stroms bewirkt wird.

Wenn aber die mechanische Wärmetheorie auch hier ihre Anwendung findet, so mufs, da die Induction mit Verlust von mechanischer Arbeit stattfindet, mehr Wärme entstehen, als wenn die Induction durch eine Intensitätsveränderung des inducirenden Stroms geschieht, und dieser Ueberschufs an Wärme mufs der verlornen Arbeit proportional seyn. Die Inductionsströme bieten also ein passendes Mittel zur experimentellen Prüfung der Gemeingültigkeit der Wärmetheorie dar. Ich habe mir daher vorgenommen, die Wärmeverhältnisse der galvanischen Inductionsströme näher als es bisher geschehen, zu untersuchen. Im Folgenden werde ich zuerst die Gesetze in Betreff der Wärmeproduction der Inductionsströme darstellen und sodann zum Verhältnifs zwischen der erzeugten Wärme und der verbrauchten mechanischen Arbeit übergehen.

2. Da ein Inductionsstrom kaum eine andere Eigenschaft als ein gewöhnlicher galvanischer Strom besitzen kann, dessen Intensität sich unaufhörlich verändert, so war es voraussichtlich, dafs dessen in jedem Zeitmoment erzeugte Wärme proportional seyn müsse dem Quadrat der Intensität desselben in einem und demselben Zeitmoment. Die Richtigkeit dieser Behauptung ist jedoch nicht mit Beihülfe derjenigen Mittel, die früher zu demselben Zwecke in Betreff galvanischer Ströme von constanter Stärke angewandt worden, vollständig zu beweisen. Dagegen bietet W. Webers Elektrodynamometer eine einfache Methode, um die Gültigkeit dieses Satzes zu untersuchen. Dieses Instrument besteht, wie bekannt, aus zwei Rollen mit übersponnenem Kupferdraht, deren eine fest liegt, die andere aber an zwei langen und feinen Silberdrähten aufgehängt ist, so dafs sie um die von diesen Drähten bestimmte Gleichgewichtslage frei oscilliren kann. Da die innere Rolle sich in dieser Gleichgewichtslage befindet, so steht ihre Axe winkelrecht gegen die der äufseren Rolle. Läfst man nun einen und denselben Strom durch beide Rollen gehen, so mufs, in Folge ihrer gegenseitigen galvanischen Einwirkung, die bewegliche Rolle einen Ausschlag machen. Die-

ser wird mit Hüfle eines Fernrohrs und einer Scale auf gewöhnliche Weise bestimmt. Wenn i die Intensität des Stroms in einem gewissen Zeitmoment und dt das Element der Zeit ist, so wird man leicht einsehen, dafs der Ausschlag proportional seyn mufs mit $\int i^2\,dt$, da die Gränzen des Integrals die Zeiten sind, wo die Strömung begann und endete. Eben derselben Gröfse mufs die durch den Inductionsstrom entwickelte Wärme proportional seyn, wenn die gemachte Voraussetzung gültig ist.

3. Bei den Versuchen ward eine Inductionsrolle gebraucht, von 118^{mm} Länge und 135^{mm} innerem Durchmesser. Diese Rolle, die von mehren Schichten eines $0{,}75^{mm}$ dicken, übersponnenen Kupferdraths umwunden war, ward mit der galvanischen Kette in Verbindung gesetzt. Der Strom ward mit Hülfe eines Blitzrades, das mittelst einer Kurbel mit der Hand umgedreht wurde, unterbrochen und geschlossen. Das Blitzrad hatte 50 Zähne, so dafs bei jeder vollständigen Umdrehung des Blitzrades der Strom mittelst einer an der Seite des Rades angebrachten Schliefsungsfeder, im Ganzen 100 Male geschlossen und geöffnet wurde. In der erwähnten Inductionsrolle ward eine andere Rolle angebracht, die einen so grofsen äufseren Durchmesser hatte, dafs sie aufs genaueste in jene hineingeschoben werden konnte. Die äufsern Enden des letzterwähnten Inductionsdrahts konnten nach Belieben entweder mit dem Dynamometer oder mit zwei einander nahestehenden Messingsäulen in Verbindung gesetzt werden; zwischen diesen war ein dünner Platindraht ausgespannt, durch den der Inductionsstrom hindurchgehen konnte. Zur Messung der durch den Inductionsstrom im Platindraht erregten Wärme befestigte man auf diesen eine kleine thermoelektrische Säule, von welcher zwei Kupferdrähte den thermoelektrischen Strom zu einem in angemessener Ferne aufgestellten Magnetometer leiteten, demselben Instrument, das bei früheren Untersuchungen von mir benutzt worden war. Die Ausschläge am Magnetometer wurden auf die übliche Weise mit Fernrohr und Scale abgelesen. Die

thermo-elektrische Säule war bei mehrfachen Versuchen dieselbe, die ich früher bei Untersuchung der Wärme-Entwickelung bei Veränderung des Volumens fester Körper benutzt hatte [1]), und bei anderen Versuchen ward eine ähnliche Säule von etwas veränderter Construction angewandt. Ueber den Platindraht und die Säule ward eine Glasglocke gestellt, um sie gegen Luftströme zu schützen.

4. Um durch den Inductionsstrom eine so starke Erwärmung des Platindraths hervorzubringen, dafs dadurch ein mefsbarer thermo-elektrischer Strom entstände, mufste das Blitzrad mehre Male umgedreht werden. Bei den Versuchen, die zur Erforschung der Abhängigkeit der Wärme-Entwickelung von der Intensität des Inductionsstromes angestellt wurden, ward das Blitzrad mit gleichmäfsiger Schnelligkeit umgedreht, bis die Magnetnadel im Magnetometer in Ruhe gelangt und der Ausschlag somit constant geworden war. Es war dieser constante Ausschlag, der beobachtet wurde. Es ist hinlänglich klar, dafs, nachdem dieses geschehen, durch Ausstrahlung und Berührung mit der Luft während jedes Zeitmomentes ebenso viel Wärme aus dem Draht entweicht, als während desselben Zeitmomentes durch den Inductionsstrom entwickelt ward. Die Wärme aber, die entweicht, ist proportional dem Temperaturüberschufs, wenn dieser ein geringfügiger ist. Die in einer gegebenen Zeit durch den Inductionsstrom entwickelte Wärme ist somit ebenfalls proportional demselben Temperaturüberschufs. Bei einer früheren Gelegenheit habe ich durch Experimente erwiesen, dafs der thermo-elektrische Strom und folglich auch dessen Ausschlag des Magnetometers proportional ist dem Temperaturüberschufs, wenn dieser ein nur unbedeutender ist [2]). Hieraus folgt demnach, dafs die Ausschläge des Magnetometers proportional sind der in einer gegebenen Zeit durch den Inductionsstrom im Platindraht entwickelten Wärme.

Es ist leicht durch Experimente die Richtigkeit dieses

1) Pogg. Annal. Bd. CXIV S. 5.

2) Pogg. Annal Bd CXIV S. 9.

Satzes zu beweisen. Diejenige Wärme, die in einer gegebenen Zeit im Platindraht entwickelt wird, mufs durchaus der Anzahl der Inductionsströme proportional seyn, vorausgesetzt, dafs die Ströme nicht schneller auf einander folgen, als dafs ein vorhergehender sein Ende erreicht hat, ehe der folgende beginnt. Wenn dagegen der Zeitraum zwischen zwei Inductionen kleiner ist als die Dauer der Ströme, so müssen zwei auf einander folgende Ströme, weil sie entgegengesetzter Richtung sind, zum Theil einander aufheben. Wenn nun, der vorgenannten Behauptung zufolge, die Ausschläge des Magnetometers proportional sind den entwickelten Wärmemengen, so müssen sie auch proportional der Anzahl der Inductionsströme seyn, sobald diese Anzahl nicht zu grofs ist. Die Versuche erwiesen auch, dafs das besagte Proportionsverhältnifs stattfand, bis sich die Anzahl der Inductionsströme auf mehr als 200 in der Sekunde belief. Hieraus ersieht man, dafs die Inductionsströme, deren ich mich bediente, eine Dauer hatten, die weniger als 0,005 Sekunden betrug. Aus untenstehender Tabelle erfährt man, auf eine wie grofse Genauigkeit man bei Wärmemessungen dieser Art sich Rechnung machen kann.

Das Blitzrad ward so gleichmäfsig als möglich mit der Hand umgedreht, so dafs es zuerst eine ganze Umdrehung in der Sekunde machte (= 100 Inductionsströmen in derselben Zeit) und darauf doppelt so geschwind. Die Umdrehung ward fortgesetzt, bis die Ausschläge constant wurden. Dabei erhielt man folgende Zahlen:

100 Inductionsströme in der Sekunde	200 Inductionsströme in der Sekunde
Die geringere Stromstärke.	
36,0	72,0
35,5	74,0
35,5	73,5
36,0	73,0
36,5	72,0
Mittel 35,9	Mittel 72,9

100 Inductionsströme in der Sekunde	200 Inductionsströme in der Sekunde.
Die gröfsere Stromstärke.	
77,0	151,0
74,5	151,0
73,0	154,0
75,0	154,5
75,0	155,0
Mittel 74,9	Mittel 153,1

Man sieht hieraus, dafs die Ausschläge fast den erzeugten Wärmemengen proportional sind. Sollte man einen physischen Grund dafür ermitteln wollen, dafs bei der doppelten Geschwindigkeit die Ausschläge beider Stromstärken etwas mehr als doppelt so grofs sind, wie bei der geringeren Geschwindigkeit, so findet man denselben in dem Umstande, dafs die elektromotorische Kraft der Säule bei der gröfseren Geschwindigkeit, in Folge einer verminderten Polarisation, ein klein wenig gesteigert worden ist. Dieser Gegenstand soll fernerhin näher erörtert werden.

Wenn die thermo-elektrische Säule in oben genannter Weise am Platindraht angebracht wird, ist es beinahe unmöglich, wenigstens wenn die Säule eine solche Vorrichtung hat, wie die, deren ich mich bediente, es so einzurichten, dafs die Säulenstäbe in durchaus vollkommener Mitte gegen einander zu stehen kommen. Der kleinste Fehler in dieser Beziehung verursacht eine Theilung des wärmeerregenden Stromes, wodurch ein Theil desselben dem thermoelektrischen Strom zum Magnetometer folgt und hier zum Ausschlage der Magnetnadel beiträgt. In der Fig. I Taf. II stellt *ab* den Platindraht dar, und *c* und *d* die beiden Säulenenden, welche der Deutlichkeit wegen ziemlich weit von einander gestellt sind. Wenn nun der Strom bei *c* anlangt, theilt er sich in zwei Theile, von denen der eine durch den Platindraht bis *d*, der andere aber von *c* bis *e* und dann durch das Magnetometer geht und darauf bis *f* und *d* gelangt. Dieser letztere Stromtheil wird natürlich in demselben Verhältnifs kleiner, als die Säulenenden nä-

her und einander mitten gegenüber kommen. Wenn man einen etwas stärkeren galvanischen Strom den Platindraht durchlaufen läfst, so geht immer ein Theil des Stroms zum Magnetometer und verursacht einen Ausschlag, weil es selten oder nie gelingt, die Säulenenden in eine gegenseitig vollkommen gerade Mitte zu bringen. Wird der Platindraht in der so eben genannten Weise durch Inductionsströme erwärmt, so entsteht dennoch kein Ausschlag, weil die Ströme beim Oeffnen und Schliefsen eine entgegengesetzte Richtung nehmen und daher ihre beiderseitige Einwirkung auf die Magnetnadel aufheben. Dafs dieses wirklich der Fall sey, davon überzeugte ich mich dadurch, dafs ich die Säulenstäbe aus einem und demselben Metall anfertigen liefs. Es konnte nun kein thermo-elektrischer Strom entstehen und die Magnetnadel verblieb auch im Zustande der Ruhe, weil diejenigen Theile der Inductionsströme, die zum Magnetometer übergingen, ihre wechselseitige Wirkung aufhoben, auch wenn die Säulenenden in eine schiefere Richtung gegen einander gebracht wurden, als diefs der Fall war, wo die wirkliche thermo-elektrische Säule benutzt wurde. Die beobachteten Ausschläge waren demnach eine Folge der Erwärmung und nicht eines begleitenden Inductionstromes.

Um mich zu überzeugen, dafs das benutzte Dynamometer in gehörigem Zustande sich befände, ward dessen Ausschlag der Inductionsströme mit den Quadraten der inducirenden Stromstärken verglichen. Das Blitzrad ward nicht wie früher umgedreht, bis der Ausschlag constant geworden, sondern es wurde eine bestimmte Anzahl Inductionsströme in einer Sekunde durchgelassen, und darauf der Scalentheil in Obacht genommen, wo die Rolle sich kehrte. So erhielt man:

Stromstärke des inducirenden Stroms vor dem Versuche = Tg. 56° 10′.

Ausschläge des Dynamometers.
56,0
57,0
57,0
57,0
56,5
Mittel 56,7.

Stromstärke nach dem Versuche = Tg. 56°
Stromstärke vor dem Versuche = Tg. 44° 5'.

Ausschläge des Dynamometers.
26,0
26,0
26,0
26,0
25,0
Mittel 25,8.

Wenn man aus den Stromstärken vor und nach den Dynamometerbeobachtungen das Mittel nimmt, so können diese nach der Gleichung $x = 26,0\,(\mathrm{Tg.}\,y)^2$ mit folgenden Differenzen berechnet werden:

Berechn.	Beobacht.	Untersch.
$x = 57,5$	56,7	+ 0,8
$= 24,0$	25,8	− 1,8

Ein andere Probe, auf welche das Dynamometer gestellt wurde, ergab Folgendes:

Eine gewisse Anzahl Inductionsströme wurde in einer Sekunde durch das Dynamometer gelassen; darauf in derselben Zeit doppelt so viele und zuletzt dreimal so viele. Die Beobachtungen geschahen in der Reihenfolge, dafs die erhaltenen Mittel fast unabhängig von den möglichen Variationen der inducirenden Stromstärke wurden. Dabei erhielt man folgende Zahlen:

	16,0	30,0	46,0
	16,5	31,0	45,0
	15,0	31,0	46,0
	16,0	30,0	44,0
	15,0	29,5	45,0
Mittel	15,7	30,3	45,2.

Hieraus ersieht man, dafs sich die erhaltenen Mittel fast zu einander verhalten, wie die Zahlen 1, 2, 3, wie diefs denn auch der Fall seyn mufste. Nachdem diese Versuche zur Prüfung der angewandten experimentellen Hülfsmittel angestellt worden, ging ich zu den eigentlichen Wärmebeobachtungen über.

5. Diese Beobachtungen wurden in der Weise angestellt, dafs zuerst das Dynamometer mit der oben genannten inneren Rolle in Verbindung gebracht, und nachdem mit diesem Instrument einige Beobachtungen gemacht worden, dasselbe entfernt und statt dessen der Platindraht eingeschaltet wurde.

Nachdem die Wärme-Entwickelung mit dem Magnetometer bestimmt worden, wurden wieder einige Dynamometerversuche gemacht.

Darauf wurde derselbe Versuch mit einer anderen Stärke des inducirenden Stroms gemacht, ohne dafs man übrigens bei einer und derselben Reihe etwas veränderte. Zwei Beobachtungsreihen dieser Art mögen hier Platz finden:

a.	Dynamometer		Wärmeausschläge.
	49,0		48,0
	48,0		48,0
	50,0		52,5
	45,0		45,0
	44,0		47,0
	43,0	Mittel	48.1
Mittel	46,5		
	17,0		22,0
	19,0		20,0
	19,0		21,5
	17,0		20,0
	18,5		21,0
	19,0	Mittel	20,9
Mittel	18,25		

Wenn die Wärmeausschläge (x) nach der Gleichung $x = 1{,}09y$ berechnet werden, ergiebt sich:

$x = 19{,}89$	20,90	$-1{,}01$
50,69	48,10	$+2{,}59$

b. In folgender Reihe wurden die Beobachtungen bei fünf ungleichen Stromstärken angestellt:

Dynamometer	Wärmeausschläge
102,0	113,5
100,0	112,0
101,0	115,0
95,0	114,0
97,5	112,0
97,5	Mittel 113,3
98,5	
Mittel 98,8	
53,0	58,0
54,0	61,0
53,0	61,5
51,0	60,0
52,0	60,0
51,5	Mittel 60,1
Mittel 52,4	
74,0	84,0
76,0	83,0
75,0	82,0
72,0	83,0
73,0	82,0
72,5	Mittel 82,8
Mittel 73,75	
42,5	49,0
41,0	47,5
41,0	46,5
40,0	47,0
41,0	44,0
40,0	Mittel 46,8
Mittel 40,9	

Dynamometer	Wärmeausschläge
18,0	21,0
19,0	20,5
19,0	20,0
18,5	20,0
18,5	20,0
17,5	Mittel 20,3
18,5	
17,5	
Mittel 18,3	

Wenn vorstehende Beobachtungen nach der Gleichung $x = 1,14y$ berechnet werden, erhält man:

Berechn.	Beobacht.	Untersch.
$x =$ 112,6	113,3	− 0,7
84,1	82,8	+ 1,3
59,7	60,1	− 0,4
46,6	46,8	− 0,2
20,9	20,3	+ 0,6.

Bei den erwähnten Beobachtungen ward die Intensität des inducirenden Stromes verändert, ohne dafs irgend eine Aenderung in Bezug auf die Weise stattfand, wie man denselben öffnete und schlofs. Diese war und verblieb bei allen Versuchen die nämliche. Wenn die Intensität des veränderlichen Inductionsstromes i genannt wird und t die Zeit bezeichnet, so war demnach bei allen Bestimmungen i die nämliche Function von t. Für zwei ungleiche Stärken m und n des inducirenden Stromes war folglich der Inductionsstrom des entsprechenden Zeitmoments mi und ni. Die vorigen Beobachtungen beweisen, dafs die von den Inductionsströmen erzeugte Wärme für diesen Fall proportional ist: $m^2 \int i^2 dt$ und $n^2 \int i^2 dt$. Hieraus folgt jedoch nicht unbedingt, dafs dasselbe Gesetz gültig sey, wenn die Intensität des inducirenden Stromes unverändert bleibt, die Zeit jedoch für das Steigen und Fallen desselben verändert wird. Um diefs zu untersuchen, verfuhr man folgendermafsen:

c. Am Blitzrade ward eine neue Feder angebracht,

die eine Nebenleitung in demselben Augenblicke schlofs, wo die Säule beim Oeffnen des Stroms mittelst der andern Feder abgetrennt wurde. Der beim Oeffnen der Säule in der Inductionsrolle entstehende Extrastrom erhielt dadurch Gelegenheit zu wirken und verursachte auf diese Weise, dafs die Abnahme des inducirenden Stromes beim Oeffnen bedeutend langsamer geschah, als im Fall da kein Nebenleiter angebracht worden war. Durch diese Veranstaltung ward natürlicherweise keine Veränderung in demjenigen Inductionsstrom verursacht, der beim Schliefsen der Säule entstand. Um endlich auch die Zeit dieses Inductionsstroms zu ändern, war von Anfang an in der inducirenden Strombahn eine Extra-Inductionsrolle angebracht worden, in welche man einen weichen Eisencylinder gelegt hatte. Durch die so hervorgebrachte Einwirkung auf den inducirenden Strom ward die Steigung beim Schliefsen desselben langsamer. Diese Inductionsrolle war so weit von derjenigen entfernt, in welcher der Inductionsstrom gebildet wurde, dessen Wärme gemessen werden sollte, dafs zwischen ihnen keinerlei Einwirkung stattfand. Damit die erzeugte Wärmemenge nicht gar zu geringe werden möchte entfernte man für diesen Fall den Nebenleiter. Die inducirende Stromstärke war bei allen drei Versuchen die nämliche.

Ohne Nebenleitung und Elektromagnet.

	Dynamometer		Wärmeausschläge
	74,0		110,0
	71,0		115,0
	75,0		110,0
	72,0		105,0
	70,0	Mittel	110,0
	71,0		
	71,0		
	70,0		
Mittel	71,75		

Mit Nebenleitung und ohne Elektromagnet.

Dynamometer	Wärmeausschläge
31,0	48,0
30,0	44,0
31,0	48,0
32,0	50,0
31,0	50,0
30,0	Mittel 48,0
Mittel 30,83	

Mit Nebenleitung und mit Elektromagnet.

61,0	85,0
59,0	92,0
59,0	92,0
62,0	84,0
59,0	Mittel 88,25
Mittel 60,0	

Wenn diese Beobachtungen nach der Gleichung $x = 1{,}512\,y$ berechnet werden, erhält man:

Berechn.	Beobacht.	Untersch.
$x = 46{,}6$	48,0	— 1,4
90,7	88,25	+ 2,45
108,5	110,0	— 1,5.

Hiermit ist bewiesen, *dafs diejenige Wärme, die ein Inductionsstrom hervorbringt, proportional ist mit $\int i^2\,dt$, wenn man als Gränzen des Integrals die Zeit annimmt, da der Inductionsstrom anfing und endigte.* Hieraus folgt ebenfalls, dafs man zu mehren Untersuchungen, zu deren Ausführung man bisher das galvanische Dynamometer als ein unumgängliches Mittel angesehen hat, in der That die thermoelektrische Säule auf oben erwähnte Weise anwenden kann. Die Ausschläge sind für beide proportional derselben Gröfse.

6. Grove hat vor mehren Jahren gefunden, dafs weiches Eisen, Nickel und Kobalt warm werden, wenn man sie schnell magnetisirt und demagnetisirt. Dagegen konnte er keine Wärme-Entwickelung wahrnehmen, wenn derselbe Versuch mit unmagnetischen Metallen gemacht wurde.

Daraus zog er den Schlufs, dafs beim Magnetisiren eine Molecularveränderung in der Masse des magnetisirten Körpers entstehe, und dafs die Reibung, die dabei unter den Molecülen entstehen mufs, die eigentliche Ursache der beobachteten Temperatursteigerung sey [1]). Dafs die Molecularfriction, die möglicherweise beim Magnetisiren entstehen kann, keine Erwärmung verursachen könne, scheint wohl daraus hervorzugehen, dafs die Molecularveränderung, die bei der Ausdehnung und Zusammenziehung der Metalle innerhalb der Elasticitätsgränzen stattfindet, zu keiner Wärme-Entwickelung Anlafs giebt. Ich habe nämlich schon vorher bewiesen, dafs bei der Ausdehnung eines Metalles eine ebenso grofse Wärmemenge verschwindet, als die, welche bei der Zusammenziehung desselben frei gemacht wird, da selbige dabei eben so viele mechanische Arbeit verrichtet, als die, welche bei der Ausdehnung verloren geht. Diese Gleichheit würde nicht existiren können, falls die Molecularfriction Wärme verursachte. Das Wahrscheinliche ist demnach wohl, dafs die Wärmeentwickelung, die Grove beobachtete, von Inductionsströmen herstammte; in diesem Falle aber hätte eine Wärme-Entwickelung sich ebenfalls bei der Anwendung von unmagnetischen Metallen zeigen müssen. Um ins Klare zu kommen, wie es sich hiermit eigentlich verhalte, stellte ich folgenden Versuch an:

Ein hoher Eisencylinder, 65^{mm} lang, 65^{mm} in Diameter und 1,5^{mm} Wanddicke, ward in die oben genannte Inductionsrolle eingeschoben. Der Cylinder war seiner ganzen Länge nach an der einen Seite aufgespalten, und in diese Spalte konnte ein Messingschieber eingefügt und dadurch eine vollständige galvanische Leitung hergestellt werden. Um den Uebergang der Wärme von der Inductionsrolle zum Cylinder zu verhindern, ward zwischen beiden ein Glascylinder von 10^{mm} Dicke angebracht. An der inneren Seite des Eisencylinders befestigte man eine kleine thermo-elektrische aus zwei Stangen von Wismuth und Antimon bestehende Säule. Mittelst einer Messingfeder ward sie gegen

1) Pogg. Ann. Bd. 78, S. 567.

den Eisencylinder gedrückt und Leitungsdrähte gingen von ihm zum Magnetometer. Ward der genannte Messingschieber entfernt, so konnten selbstverständlich keine anderen Inductionsströme im Eisencylinder entstehen, als die, welche von dem entstehenden und verschwindenden Magnetismus herrührten. Wenn dagegen der Messingschieber an seinen Ort gebracht wurde, entstanden auch Ströme im Eisencylinder, welche von der umgebenden Inductionsspirale direct inducirt wurden. Der Strom ward mit dem Blitzrade auf dieselbe Weise wie bei den früheren Versuchen geöffnet und geschlossen. Zuerst machte man einige Versuche bei geschlossenem Eisencylinder, sodann entfernte man den Messingschieber und machte einige Bestimmungen mit dem offenen Cylinder; schliefslich ward der Messingschieber wieder eingefügt und die ersten Versuche wiederholt.

Stromstärke = Tg. 24°.

Eisencylinder geschlossen	Eisencylinder offen
16,0	15,0
17,0	15,0
16,5	14,0
12,0	14,5
14,0	Mittel 14,63
17,0	
Mittel 15,42	

Stromstärke = Tg. 36° 15′.

Eisencylinder geschlossen	Eisencylinder offen
43,0	40,5
46,0	40,0
45,0	43,0
43,5	40,0
46,0	Mittel 40,88
40,0	
43,0	
Mittel 43,79	

Wenn diese Beobachtungen unter der Voraussetzung berechnet werden, dafs die Wärmemengen proportional sind den Quadraten der Stromstärken (und somit auch den

Quadraten der Intensität der Inductionsströme), so erhält man für den Fall, dafs der Cylinder geschlossen ist, nach der Gleichung $x = 79,63$ (Tg. $y)^2$:

	Berechn.	Beobacht.	Untersch.
$x =$	15,42	15,78	+ 0,36
	43,79	42,81	— 0,98;

und wenn der Cylinder offen ist, nach der Gleichung $x = 74,92$ (Tg. $y)^2$:

	Berechn.	Beobacht.	Untersch.
$x =$	14,85	14,63	— 0,22
	40,28	40,88	+ 0,60

In beiden Fällen ist demnach die entwickelte Wärmemenge proportional der Intensität des Inductionsstromes. Beim ersten Anblick wird man überrascht, dafs die Wärmeentwickelung bei geschlossenem Cylinder unbedeutend gröfser ist als bei offenem, ungeachtet in jenem Falle die Wärme der Inductionsströme, welche von der Inductionsspirale direct hervorgerufen werden, zu der derjenigen Ströme addirt wird, welche durch das Entstehen und Verschwinden des Magnetismus erregt werden. Die Erklärung dieser Erscheinung ist jedoch leicht. Durch die Einwirkung dieser Inductionsströme geschieht sowohl die Magnetisirung als die Demagnetisirung langsamer, als wenn sie nicht vorhanden sind, und aufserdem wird die Zeit, die erforderlich ist, damit der inducirende Strom beim Schliefsen seine Gröfse erreiche, eine längere. Alle Inductionsströme erhalten dadurch eine längere Dauer und ihre Intensität wird daher geringer.

Bei einem andern Versuche ward in der Inductionsspirale ein Kupfercylinder von fast denselben Dimensionen wie die des Eisencylinders anstatt des letzteren eingeschoben. Der Kupfercylinder war geschlossen, so dafs die Inductionsströme frei circuliren konnten. Hier erhielt man:

Stromstärke = Tg 67° 20′	Stromstärke = Tg. 54° 50′
Wärmeausschlag	Wärmeausschlag
80,0	32,5
79,0	28,5
80,5	26,0
78,0	26,0
Mittel 79,4	Mittel 28,3.

Werden diese Ausschläge nach der Gleichung $x = 13{,}95\,(\mathrm{Tg.}\,y)^2$ berechnet, so erhält man:

Berechn.	Beobacht.	Untersch.
$x = 79{,}98$	79,5	+ 0,58
28,10	28,3	— 0,20

So entsteht auch in einem unmagnetisirbaren Metalle Wärme unter denselben Verhältnissen, wie in einem magnetisirbaren. Es giebt demnach keinen gültigen Grund für die Annahme, dafs die Wärmeentwickelung direct vom Magnetismus erzeugt werde. Ohne Zweifel ist sie ein Product der durch das Entstehen und Verschwinden des Magnetismus verursachten Inductionsströme, die immer bei einer Veränderung in der Stärke des Magnetismus entstehen, der Elektromagnet möge Aussehen und Form haben, welche er wolle.

7. Ein Inductionsstrom hat selbstverständlich eine Einwirkung auf den inducirenden Hauptstrom. Es entstehen in dem letzteren Inductionsströme zweiter Ordnung, die sich je nach ihren Richtungen dem Hauptstrom addiren, oder von demselben subtrahiren. Hieraus folgt, dafs die Wärmeentwickelung in der inducirenden Strombahn während der Zeit, dafs die Induction stattfindet, eine andere seyn kann, als die während einer eben so langen Zeit, wo keine Induction geschieht. Will man untersuchen, ob durch Induction Wärme entstehe, so mufs man also nicht nur die Wärmemenge messen, welche der Inductionsstrom während einer gewissen Zeit ergiebt, sondern auch das Wärmeerzeugnifs im inducirenden Strom während derselben Zeit zuerst, wo keine Induction stattfindet, und nachher, während derselbe inducirt. Dabei wird natürlich vorausgesetzt, dafs in beiden Fällen die Stromstärke der Säule unverän-

dert dieselbe sey, d. h. dafs dort dieselben chemischen Operationen geschehen, oder, wenn diefs nicht der Fall ist, dafs die erhaltenen Bestimmungen auf das Maafs reducirt werden, welches sie gehabt haben würden, falls diese Bedingung erfüllt worden wäre. Ich werde nun zuerst diejenigen Versuche mittheilen, welche die Induction mittelst des Schliefsens und Oeffnens des inducirenden Stromes betreffen.

Hierbei traten beim Experimentiren mehre Schwierigkeiten ein, die zu beseitigen waren, wenn das beabsichtigte Ziel erreicht werden sollte. Wenn der inducirende Strom an Intensität zunimmt, so entsteht, wie bekannt, in der Inductionsbahn ein Strom von entgegengesetzter Richtung. Wie auch dieser Inductionsstrom seyn möge, so mufs er doch bei seinem Beginne von Null bis zu einer gewissen Intensität steigen und in selbiger Weise beim Aufhören von einer gewissen Intensität bis auf Null fallen. Bei diesen beiden Intensitätsveränderungen des Inductionsstromes entstehen im Hauptstrom Inductionsströme zweiter Ordnung, und wie leicht ersichtlich, geht der, welcher beim Anfange des primären Inductionsstromes entsteht, in derselben Richtung als der Hauptstrom, und der, welcher beim Aufhören des Inductionsstromes entsteht, in einer demselben entgegengesetzten Richtung. Ein umgekehrtes Verhältnifs tritt bei Unterbrechung des Hauptstroms ein, vorausgesetzt, dafs ein Nebenleiter dermafsen angebracht sey, dafs die Inductionsströme zweiter Ordnung Gelegenheit zu circuliren haben. Der Inductionsstrom zweiter Ordnung, der hier beim Beginne des Inductionsstromes entsteht, geht in einer dem Hauptstrome entgegengesetzten Richtung, und der, welcher beim Aufhören desselben entsteht, in derselben Richtung. Hieraus folgt, dafs das Steigen des Hauptstroms beim Schliefsen und das Fallen desselben beim Oeffnen auf andere Weise geschieht, wenn er inducirt, als wenn er nicht inducirt. Da die Inductionsströme eine Dauer haben, die mit der Zeit zu vergleichen ist, während welcher der Hauptstrom geschlossen ist, so wird man leicht einsehen, dafs die Wir-

kung dieser Inductionsströme zweiter Ordnung eine derartige wird, dafs der Hauptstrom eine kürzere Zeit die gröfste Intensität besitzt, wenn er inducirt, als wenn er nicht inducirt.

Die Säule, deren ich mich bediente, war eine Grove'sche. Bei einer früheren Gelegenheit habe ich bewiesen, dafs eine solche Säule, während der ersten Augenblicke nach dem Schliefsen polarisirt wird [1]). Die Polarisation ist ihrer Gröfse nach jedoch abhängig von der Stärke und Dauer des Stromes, vorausgesetzt, dafs letztere nicht so lang ist, dafs die Polarisation ihr Maximum zu erreichen vermag. Es folgt demnach aus dem oben Gesagten, dafs die Polarisation in der Säule geringer und somit die elektromotorische Kraft gröfser seyn mufste, wenn die Bahn des Inductionsstromes geschlossen, als wenn sie offen war. Und so erwies es sich auch. Dafs der Unterschied der Stromstärken aus der Polarisation der Säule entstand, ward aufserdem dadurch erwiesen, dafs dieser Unterschied geringer befunden ward, wenn die Salpetersäure concentrirt, als wenn sie verdünnt war. In beiden Fällen war freilich die Wirkung der Polarisation nicht sonderlich grofs, und bei andern Strommessungen, als den hier angestellten, würde man möglicherweise nicht nöthig gehabt haben, selbige zu berücksichtigen. Hier dagegen ward der Wämeeffect des Stromes so bedeutend dadurch verändert, dafs die geringe Wärmequantität, die gemessen werden sollte, leicht hätte verloren gehen können, falls man diese Quelle zu einem möglichen Irrthum nicht beachtet hätte. Es ward also erforderlich, dafs gleichzeitig mit der Messung der Wärme-Entwickelung des inducirenden Stromes ebenfalls eine Messung seiner Stärke stattfand.

Es ist leicht zu ersehen, dafs, wenn alle Inductionsströme zweiter Ordnung, die in der Bahn des Hauptstromes circuliren, Gelegenheit haben, sich zu entwickeln und demselben Leitungswiderstande ausgesetzt sind, ihre algebraische Summe gleich Null ist, und daher können sie auf ein Galvanometer keine Einwirkung haben. Zwei aufeinander fol-

1) Pogg. Ann. Bd. LXXVII, S. 161.

gende Ströme gehen nämlich immer in entgegengesetzter Richtung. Wenn dagegen der Hauptstrom geöffnet wird, ohne Einfügung eines Nebenleiters für die Inductionsströme, die noch nicht haben circuliren können, so kann die algebraische Summe der übrigen Inductionsströme zweiter Ordnung nicht gleich Null werden. Wenn man in diesem Falle die Stromstärke mifst, erhält man somit die algebraische Summe des Säulenstroms und der übrigen Inductionsströme, und da man die Gröfse der letzteren nicht kennt, so kennt man auch nicht die des ersteren und kann nicht sagen, in welchem Maafse selbige durch die Polarisation sich hat verändern können. Es ward daher erforderlich, den Inductionsströmen zweiter Ordnung Gelegenheit zu geben, sich frei zu entwickeln.

Wie bereits oben angedeutet worden, ist es fast unmöglich die thermo-elektrischen Säulenstäbe so vollkommen einander mitten gegenüber zu bringen, dafs nicht ein Theil des den Platindraht erwärmenden Stromes dem thermo-elektrischen Strome zum Magnetometer folgt. Da der Draht von den Inductionsströmen wechselnder Richtung erwärmt wird, so verschwindet diese Ungelegenheit von selbst. Wird er dagegen von einem Säulenstrom unveränderter Richtung erwärmt, dann wird der Ausschlag der Magnetnadel von dem ihm folgenden Stromtheil verändert. Es war demnach erforderlich eine derartige Beobachtungsweise zu wählen, dafs die erhaltenen Ausschläge in zwei Theile zerfällt würden, deren einer dem thermo-elektrischen Strome und der andere der Abtheilung des Hauptstromes gehörte, welcher bis zum Magnetometer mitfolgte.

Wenn die thermo-elektrische Säule zu zwei verschiedenen Malen fest an den Draht geklemmt, und dieser derselben Erwärmung ausgesetzt wird, erhält man selten gleich grofse Ausschläge. Die Säule mufste daher bei allen Versuchen, die zu einer und derselben Beobachtungsreihe gehörten, durchaus unverrückt bleiben. Damit die Säule nicht von selbst ihre Lage auf dem zwischen zwei aufrecht stehenden Messingstützen horizontal ausgespannten Platindrahte

veränderte, ward sie an einer Messingstange befestigt, und der Tisch, worauf sich diefs Alles befand, auf ein festes Gestell gebracht. Eine übergestülpte Glasglocke hielt die Luftströme ab irgend eine Erwärmung oder Abkühlung des Platindrahtes zu verursachen.

Um den Inductionsströmen zweiter Ordnung Gelegenheit zu geben sich frei zu entwickeln, versah man das Blitzrad, wie bei einem frühern Versuche, mit der Schliefsungsfeder No. 2. Diese war so angebracht, dafs in dem Augenblick, da der inducirende Strom mit der zweiten Feder geöffnet wurde, sich ein Nebenleiter einfügte, so dafs, obgleich die Säule abgetrennt war, dennoch ein geschlossener Leiter für die Circulation der in der Inductionsrolle entstehenden Ströme vorhanden war. Dieser Nebenleiter besafs denselben Widerstand als die abgetrennte Säule. Da eine Reihe von Versuchen gewöhnlich einen ganzen Tag dauerte, so veränderte sich unterdefs selbstverständlich der Widerstand in der Säule, weshalb die Gleichheit dieser Widerstände nicht absolut seyn konnte. Um einen derartigen Einflufs zu mindern, wählte man eine Säule, die eine grofse Oberfläche besafs, so dafs ihr Widerstand, in Vergleich mit dem Gesammtwiderstande im Leiter, nur ein geringfügiger war. Die Abweichungen des Säulenwiderstandes von einander hatten demnach nur wenig zu bedeuten. Dasselbe gilt von der Bemerkung, dafs die Schliefsungsfeder No. 2 den Nebenleiter nicht in demselben mathematischen Augenblicke schliefsen konnte, wo der Strom durch die zweite Feder unterbrochen wurde, sondern einige Augenblicke vorher, damit der Nebenleiter in dem Augenblicke, wo die Säule abgetrennt wurde, in Ordnung seyn möchte. Auf diese Weise ward auf einen kurzen Zeitmoment die Strombahn wirklich zu gleicher Zeit, sowohl durch die Säule, als durch den Nebenleiter geschlossen. Da jedoch der Widerstand in beiden vergleichsweise geringe war, ward keine sonderliche Wirkung davon verspürt.

Weil die Wärme-Entwickelung des Hauptstroms sehr bedeutend war, so konnte man nicht, wie bei den vorigen Ver-

suchen, das Blitzrad mit constanter Schnelligkeit so lange umdrehen, bis der Ausschlag constant ward; weil in diesem Falle derselbe so grofs geworden wäre, dafs die angewandte Scale bei weitem nicht hingereicht haben würde. Dazu hätte man in der thermo-elektrischen Strombahn einen besonderen Widerstand anbringen, und später, wenn man die Wärmeentwickelung des Inductionsstromes hätte messen wollen, denselben herausnehmen müssen. Eine derartige Beobachtungsweise würde auch zu zeitraubend gewesen seyn; denn es war wünschenswerth, dafs eine Reihe von Beobachtungen ohne Unterbrechung und in möglichst kurzer Zeit gemacht würde. Jedenfalls war ein Tag dazu erforderlich. Statt dessen liefs ich daher die Ströme während einer gewissen Anzahl von Sekunden wirken, und beobachtete darauf bei einem gegebenen Sekundenschlage den erhaltenen Ausschlag. Die Zeiten für die Erwärmung und die Ablesung der Magnetnadel waren selbstverständlich für alle derselben Reihe zugehörenden Beobachtungen die nämlichen. Dafs man auf diese Weise ein richtiges Gröfsenmaafs für die Erwärmung erhält, werde ich nun zuvörderst darthun:

Bezeichnet s die Wärmemenge, die in der Einheit der Zeit im Platindraht entwickelt wird, a den Verlust an Wärme der in der Zeit-Einheit durch Ausstrahlung, Leitung und Berührung mit der Luft entsteht, wenn der Temperaturüberschufs I ist und v der Temperaturüberschufs des Drahtes zur Zeit t, dann hat man,

$$dv = s\,dt - av\,dt,$$

welche Gleichung integrirt und mit der Constante so bestimmt, dafs $v = 0$, wenn $t = 0$,

$$v = \frac{s}{a}\,(I - e^{-at})$$

ergiebt. Es bezeichne m die Einwirkung der erdmagnetischen Kraft auf das Nadelsystem, dividirt mit dem Trägheitsmoment des letzteren, k die Einwirkung des durch den Temperaturüberschufs I entstandenen thermo-elektrischen Stroms, p die Einwirkung auf das Nadelsystem des mitfol-

genden Theils vom Hauptstrome, und $2n$ einen Factor, abhängig von der durch die dicke Kupferhülse und die Drahtschichten verursachten Dämpfung, diese drei letzteren Quantitäten ebenfalls mit dem Trägheitsmoment dividirt — so erhält man für die Berechnung der Bewegung des Nadelsystems, wenn x den veränderlichen Ausschlagswinkel bedeutet (welcher, da dieser geringfügig ist, anstatt des Sinus gesetzt werden kann), folgende Gleichung:

$$\frac{d^2 x}{dt} = -mx + kv - p - 2n\frac{dx}{dt};$$

bei welcher angenommen wird, dafs p in einer der Erwärmung entgegengesetzten Richtung wirke. Wenn man den Werth von v in diese Gleichung einsetzt, die Integration ausführt und die Constanten so bestimmt, dafs, wenn $t = 0$, auch $x = 0$ und $\frac{dx}{dt} = 0$ sind, so erhält man

$$mx = \frac{ks}{a^2 - 2an + m} e^{-nt}\Big[(2n-a)\cos t\sqrt{m-n^2} + \frac{2n^2 - an - m}{\sqrt{n-m^2}} \sin t\sqrt{m-n^2}\Big] + \frac{ks}{a}\Big(1 - \frac{m}{a^2 - 2an + m} e^{-at}\Big) + p.e^{-nt}\Big[\cos t\sqrt{m-n^2} + \frac{n}{\sqrt{m-n^2}} \sin t\sqrt{m-n^2}\Big] - p \quad (1).$$

$$\frac{dx}{dt} = -\frac{ks}{a^2 - 2an + m} e^{-nt}\Big[\frac{(n-a)}{\sqrt{m-n^2}} \sin t\sqrt{m-n^2} + \cos t\sqrt{m-n^2}\Big] + \frac{ks}{a^2 - 2an + m} e^{-at} - \frac{p}{\sqrt{m-n^2}} \sin t\sqrt{m-n^2}\, e^{-nt} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2).$$

Die Gleichungen (1) und (2), welche die Lage und Geschwindigkeit der Magnetnadel in jedem beliebigen Zeitmoment t ausdrücken, gelten natürlich nur so lange, als Wärme entwickelt wird und p zu wirken fortfährt. Wird nun bei allen derselben Reihe angehörenden Versuchen die Wärmeentwickelung in gleich langer Zeit (T) fortgesetzt, so erhält man die Lage und Geschwindigkeit der Magnet-

nadel beim Schlusse der Wärme-Entwickelung, wenn T in diese Gleichungen eingesetzt wird. Nun sind die Coëfficienten von s und p in denselben Gleichungen allein abhängig von der Veränderlichen t. Macht man diese nun constant, dann werden auch die Coëfficienten constant und die Gleichungen können geschrieben werden unter der Form

$$x = As - Bp \quad \ldots\ldots \quad (3)$$

$$\frac{dx}{dt} = A's - B'p \quad \ldots\ldots \quad (4),$$

welche Gleichungen die Lage und Geschwindigkeit der Magnetnadel beim Schlusse der Wärme-Entwickelung ausdrücken.

Die Differentialgleichung für die Bewegung der Magnetnadel, nachdem die Wärme-Entwickelung aufgehört hat, ist

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -mx + kv - 2n\frac{dx}{dt} \quad \ldots \quad (5).$$

Nun ist aber:

$$dv = -avdt,$$

woraus

$$v = v_0 e^{-at};$$

wo v_0 der Temperaturüberschufs ist, der sich im Draht beim Schlufs der Wärme-Entwickelung befindet.

Allein dem Vorausgegangenen zufolge ist

$$v_0 = \frac{s}{a}(1 - e^{-aT}) = gs, \ (g \text{ eine Constante}),$$

woraus also

$$v = gse^{-at}.$$

Wird dieser Werth in die Gleichung (5) gesetzt und diese sodann integrirt, und werden diese Constanten so bestimmt, dafs die Geschwindigkeit und Lage der Magnetnadel bei $t = 0$ die Werthe haben, die man aus den Gleichungen (3) und (4) erhält, welche Werthe mit x_0 und h_0 zu bezeichnen sind, so bekommt man

$$x = \frac{kgse^{-at}}{a^2 - 2an + m} + \frac{kgs(a-n)}{\sqrt{m-n^2}(a^2 - 2an + m)} e^{-nt} \sin t\sqrt{m-n^2}$$

$$- \frac{kgs}{a^2 - 2an + m} e^{-nt} \cos t\sqrt{m-n^2}$$

$$+ x_0 e^{-nt} \cos t\sqrt{m-n^2} + \frac{nx_0}{\sqrt{m-n^2}} e^{-nt} \sin t\sqrt{m-n^2}$$

$$+ \frac{h_0}{\sqrt{m-n^2}} e^{-nt} \sin t\sqrt{m-n^2}.$$

Wenn nun die Beobachtungen bei der Zeit T' gemacht werden, von der Zeit T an gerechnet, und diese Zeit für alle Beobachtungen, die derselben Reihe angehören, gleich ist, so werden die Coëfficienten von s, x_0 und h_0 constant, und man kann der Einfachheit wegen diese Gleichung unter der Form schreiben:

$$x = A''s + B''x_0 + Ch_0 \quad . \; . \; . \quad (6).$$

Wenn nun die Werthe von x_0 und h_0 aus den Gleichungen (3) und (4) in diese Gleichung gesetzt werden, so erhält man schliefslich

$$x = Fs - Gp \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (7),$$

wo F und G neue Constanten sind.

Wenn der galvanische Strom durch den Platindraht in einer der vorigen Richtung entgegengesetzten hindurchgelassen wird, so verändert p sein Zeichen, weil der Stromtheil, der zum Magnetometer mitfolgt, in derselben Richtung als die Erwärmung wirkt. Während alles Uebrige in der Gleichung (7) unverändert bleibt, erhält man demnach für diesen Fall

$$x' = Fs + Gp \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (8).$$

Wenn die Gleichung (7) zu der (8) addirt und die Summe durch 2 dividirt wird, erhält man

$$\frac{x + x'}{2} = Fs.$$

Wird dagegen die Gleichung (7) von der Gleichung (8) subtrahirt, so wird ebenso

$$\frac{x' - x}{2} = Gp.$$

Für die Erwärmung durch den Inductionsstrom muſs

man $p = 0$ setzen, weil die Einwirkungen der mitfolgenden Stromtheile auf die Magnetnadel sich alsdann gegenseitig aufheben. Da nun p der Stromstärke proportional ist, so folgt aus der vorhergehenden Berechnung, dafs, wenn man bei Umdrehung des Blitzrades mit constanter Schnelligkeit den Hauptstrom während einer gegebenen Zeit (T) durch den Platindraht gehen läfst, darauf nach einer gewissen Zeit (T') die Lage der Magnetnadel beobachtet, und denselben Versuch anstellt, nachdem die Richtung des Stromes im Platindraht umgekehrt worden — man durch die halbe Summe der Ausschlagzahlen einen Ausdruck für die Erwärmungskraft des Hauptstroms erhält, mit demselben Maafse gemessen, das man beim Inductionsstrom anwandte; so giebt auch der halbe Unterschied der Ausschlagzahlen ein Maafs für die während der Erwärmung stattgefundene Stromstärke.

Um die Richtigkeit der vorstehenden Berechnung zu erproben, ward folgender Versuch angestellt: Der Hauptstrom ward während 15 Sekunden durch den Platindraht geleitet und mittlerweile das Blitzrad mit constanter Schnelligkeit umgedreht, worauf bei der 40sten Sekunde, vom Beginne der Erwärmung an gerechnet, die Lage der Magnetnadel beobachtet wurde. Dann stellte man denselben Versuch an, nachdem die Stromrichtung im Platindraht umgekehrt worden. Derartige Versuche machte man bei zwei ungleichen Stromstärken.

Ausschläge in Skalentheilen bei gröfserer Stromstärke.

Ausschlag	
+ 1,0 — 3,0	Die Erwärmung und der mitfolgende Theil des Hauptstroms in entgegengesetzter Richtung wirkend.
+ 210,0 + 211,0	in derselben Richtung.
± 0,0 + 1,0	in entgegengesetzter Richtung.
+ 206,0 + 206,0	in derselben Richtung.

Ausschläge bei geringerer Stromstärke.

$+104,0$ }
$+96,0$ } in derselben Richtung.
$-26,0$ }
$-25,0$ } in entgegengesetzter Richtung.
$+96,0$ }
$+94,0$ } in derselben Richtung.
$-25,0$ }
$-25,0$ } in entgegengesetzter Richtung.

Für die gröfsere Stromstärke ist also $\frac{x+x'}{2} = 104,0,$

» » geringere » » » $\frac{x+x'}{2} = 36,12,$

dagegen ist $\frac{x'-x}{2}$ im ersteren Falle $= 104,25,$
und in dem letzteren $= 61,37.$

Da nun die Erwärmung proportional ist dem Quadrat der Stromstärke, so mufs, wenn die Rechnung richtig ist,

$$\frac{104,0}{36,12} = \left(\frac{104,25}{61,37}\right)^2 \text{ seyn.}$$

Die erste Quote giebt 2,879 und die letzte 2,885. Die Uebereinstimmung ist demnach so vollständig, wie man nur wünschen kann.

a. In der folgenden Beobachtungsreihe ward das Blitzrad während 20 Sekunden mit constanter Schnelligkeit umgedreht (eine ganze Umdrehung in einer Sekunde) und darauf beim 40sten Sekundenschlage die Lage der Magnetnadel beobachtet. Zuerst beobachtete man zweimal die Wärme-Entwickelung des Inductionsstromes, nachdem der Platindrath, auf dem die thermo-elektrische Säule festgeschraubt war, in die Bahn des Inductionsstromes eingeschaltet worden. Darauf ward die Inductionsbahn beseitigt und statt deren der Platindraht in die Bahn des Hauptstromes eingefügt. Nun wurden zwei Versuche angestellt, während die Inductionsbahn offen war; bei dem ersten derselben wirkten der thermo-elektrische Strom und der zum Magnetometer mitfolgende Theil des Hauptstroms in entgegen-

gesetzter und beim zweiten Versuche in einer und derselben Richtung. Von diesen beiden Beobachtungen erhielt man somit ein Maafs für die Wärme-Entwickelung und Stärke des Hauptstromes während der 20 Sekunden, in denen das Blitzrad umgedreht ward und keine Induction stattfand. Nachdem diese Beobachtungen angestellt waren, ward die Inductionsbahn mit einem Platindraht von derselben Länge und Dicke als der, auf dem die thermo-elektrische Säule festgeschraubt war, geschlossen. Der galvanische Leitungswiderstand in der Inductionsbahn war demnach nun derselbe, als damals, wo man die Wärme-Entwickelung des Inductionsstroms beobachtete. Während die Inductionsbahn geschlossen war, stellte man abermals zwei Beobachtungen an, die eine, als der zum Magnetometer mitfolgende Theil des Hauptstroms und der thermo elektrische Strom in entgegengesetzter, und die andere, als sie in einer und derselben Richtung wirkten. Diese beiden Beobachtungen ergaben ein Maafs für die Stärke und Wärme-Entwickelung des Hauptstroms während der 20 Sekunden, unter denen die Induction stattfand. Nachdem diese Versuche mehrmals wiederholt worden, stellte man schliefslich einige neue Beobachtungen über die Wärmeentwickelung des Inductionsstromes an. Die Strombahn enthielt selbstverständlich den nöthigen Strombrecher und Commutator und daneben eine Tangentenbussole. Die Säule bestand aus fünf Grove'schen Elementen mit grofser Fläche. Die erhaltenen Zahlen waren folgende:

Ausschläge am Magnetom.		Inductions-rolle	$\frac{x'-x}{2}=$ Strom-stärke	$\frac{x+x'}{2}=$ Wärme-Entwickelung
No. 1.	46,0 323,0	offen	138,5	184,5
No. 2.	40,0 322,0	geschlossen	141,0	181,0
No. 3.	46,0 319,0	offen	136,5	182,5

Ausschläge am Magnetom.		Inductions-rolle	$\frac{x'-x}{2}=$ Strom-stärke	$\frac{x+x'}{2}=$ Wärme-Entwickelung
No. 4.	41,0 / 317,8	geschlossen	138,4	179,4
No. 5.	44,0 / 325,0	offen	140,5	184,5
No. 6.	40,0 / 334,0	geschlossen	147,0	187,0
No. 7.	47,0 / 327,0	offen	140,0	187,0
No. 8.	38,0 / 322,0	geschlossen	142,0	180,0
No. 9.	43,0 / 320,0	offen	138,5	181,5
No. 10.	38,0 / 326,0	geschlossen	144,0	182,0.

Die Wärme-Entwickelung des Inductionsstroms betrug:

27,0 / 28,0	vor den Versuchen
29,0 / 30,0	nach den Versuchen
Mittel 28,75	

Wenn die Wärme-Entwickelung bei den zehn vorgenannten Versuchen für den Fall berechnet wird, dafs die Stromstärke der Säule constant und unverändert geblieben ist (= Mittel 140,6), so erhält man folgende Zahlen:

No. 1 190,1	No. 2 180,0
No. 3 193,6	No. 4 185,2
No. 5 184,8	No. 6 171,1
No. 7 188,6	No. 8 176,5
No. 9 187,1	No. 10 173,5
Mittel 188,84	Mittel 177,26

Der wahrscheinliche Fehler bei den ersten dieser Mittelwerthe ist $\pm$ 0,99 und bei dem andern $\pm$ 1,65.

Der Unterschied zwischen diesen beiden Mittelwerthen

11,58 bezeichnet die Abnahme der Wärme-Erzeugung im Hauptstrom, und er entsteht dadurch, dafs letzterer einen Strom in einem anderen Leiter inducirt. Diese Zahl 11,58, sowie die Zahl 28,75, welche man für den Inductionsstrom erhielt, repräsentiren jedoch nur die Wärme-Entwickelung im Platindraht, geben aber keinen Begriff von der Wärme-Entwickelung in den übrigen Theilen der beiden Leitungsbahnen. Man kann demnach diese Zahlen nicht direct mit einander vergleichen, um zu sehen, ob im Ganzen eine Wärme-Entwickelung abseiten der galvanischen Induction dieser Art verursacht wird. Nun aber ist für einen und denselben Strom die Wärme-Entwickelung proportional dem galvanischen Leitungswiderstande, was nicht nur für metallische Leiter, sondern auch für Flüssigkeiten gilt. Wenn man also 28,75 mit dem Leitungswiderstand der Inductionsbahn multiplicirt und 11,58 mit dem Widerstande im Hauptstrom, so bezeichnen von den erhaltenen Producten jenes die gesammte Wärme-Erzeugung in der Bahn des Inductionsstromes und dieses den gesammten Wärme-Unterschied, der in der Bahn des Hauptstromes entsteht, wenn dieser Strom inducirt, und wenn er nicht inducirt. Hierbei ist jedoch zu bemerken, dafs der Widerstand in der Bahn des Hauptstroms dadurch verändert wird, dafs der Strom durch die Umdrehung des Blitzrades fortwährend geschlossen und geöffnet wird. Der Strom hört nämlich nicht in demselben Augenblicke auf, wo die Schliefsungsfeder des Blitzrades den leitenden Zahn verläfst, sondern dauert in Folge der entstehenden Funkenbildung noch eine Zeitlang fort. Der Funke übt einen bedeutenden Leitungswiderstand aus, und demnach ist der Leitungswiderstand in der Bahn des Hauptstroms während dieses Zeitmoments gröfser als vorher. Der Leitungswiderstand der Hauptbahn wird folglich durch die Umdrehung des Blitzrades vergröfsert. Wenn m der Widerstand in der Bahn des Inductionsstromes und M der Widerstand in der Hauptleitung ist, während das Blitzrad umgedreht wird, so bezeichnen:

28,75 m die gesammte Wärme-Erzeugung in der Inductionsbahn und

11,58 M den gesammten Wärme-Unterschied in der Hauptbahn, wenn der Strom inducirt, und wenn er nicht inducirt.

Um nun das Verhältniſs zwischen m und M zu finden, ward das Blitzrad einmal in der Sekunde mit constanter Schnelligkeit umgedreht und so fuhr man fort, bis der Ausschlag an der gleich anfangs in der Hauptleitung angebrachten Tangentenbussole constant wurde. Darauf ward die Leitungsbahn des Inductionsstromes in die Hauptleitung eingeschaltet und dieselbe Beobachtung angestellt. Im ersteren Falle erhielt man als Ausschlag 15° 49′ (das Mittel mehrerer Ablesungen) und im letzteren 11°,0. Man hat also:

$$\frac{\text{Tg. } 15^{\circ}\,49'}{\text{Tg. } 11^{\circ},0} = 1 + \frac{m}{M};$$

woraus $m = 0{,}457\,M$.

Diese Bestimmung geschah vor dem Beginne der Beobachtungsreihe. Da M während des Laufes der Reihe sich etwas änderte, war es nothwendig beim Schlusse derselben den Versuch zu wiederholen. Dieser ergab:

$$\frac{\text{Tg } 14^{\circ}\,43'}{\text{Tg. } 10^{\circ}\,27'} = 1 + \frac{m}{M};$$

woraus $m = 0{,}424\,M$.

Nimmt man nun hiervon das Mittel, so erhält man $m = 0{,}4405\,M$. Setzt man diesen Werth von m in den vorhergehenden Ausdruck der gesammten Wärme-Erzeugung des Inductionsstroms, so erhält man für diese 12,66 M, welcher Ausdruck sich so unbedeutend von 11,58 M unterscheidet, der den Gesammtunterschied in der Wärme-Erzeugung des Hauptstromes bezeichnet, wenn dieser inducirt und wenn er nicht inducirt, daſs man sie als einander gleich betrachten muſs.

b. Die zweite Beobachtungsreihe ward in gleicher Weise angestellt wie die erste, mit dem Unterschiede, daſs das Blitzrad nur 15 Sekunden umgedreht und die Beobachtung

am Schlufs der 35sten Sekunde gemacht wurde. Die galvanische Säule, die aus denselben Elementen wie zuvor bestand, war stärker, so dafs die Ausschläge, trotz der kürzeren Wirkungszeit des Stromes, dennoch etwas gröfser ausfielen, als vorher. Diefs dürfte doch zum Theil davon herrühren, dafs die thermo-elektrische Säule zwischen beiden Versuchsreihen auf den Platindraht versetzt worden war, in Folge dessen die erhaltenen Zahlen in der ersten und zweiten Reihe nicht ganz miteinander vergleichbar sind. In dieser Reihe erhielt man folgende Resultate:

Wärme-Entwickelung des Inductionsstromes = 32,0.

Ausschläge am Magnetom.		Inductions-rolle	$\frac{x'-x}{2}$ = Strom-stärke	$\frac{x+x'}{2}$ = Wärme-Entwickelung
No. 1.	373,0 85,0	offen	144,0	229,0
No. 2.	81,0 376,0	geschlossen	147,5	228,5
No. 3.	89,0 381,0	offen	146,0	235,0
No. 4.	76,0 375,0	geschlossen	149,5	225,5
No. 5.	85,0 371,0	offen	143,0	228,0
No. 6.	74,0 357,0	geschlossen	141,5	215,5

Wärme-Entwickelung des Inductionsstromes = 31,0
= 32,0

Einige Stunden später.

Wärme-Entwickelung des Inductionsstromes = 30,0
= 31,0

No. 7.	73,0 358,0	offen	142,5	215,5
No. 8.	342,0 65,0 349,0	geschlossen	140,3	205,3

Ausschläge am Magnetom.		Inductions-rolle	$\frac{x'-x}{2}$ = Strom-stärke	$\frac{x+x'}{2}$ = Wärme-Ent-wickelung
No. 9.	343,0 70,0	offen	136,5	206,5
No. 10.	61,0 341,0	geschlossen	141,5	202,5

Wärme-Entwickelung des Inductionsstromes = 28,0
31,0

Wenn man aus diesen Beobachtungen berechnet, wie grofs die Wärme-Entwickelung geworden seyn würde, falls die Stromstärke sich unverändert gehalten hätte (= 143,2, das arithmetische Mittel aller 10 Beobachtungen), so erhält man folgende Zahlen:

Ohne Induction.	Mit Induction.
No. 1 226,5	No. 2 215,4
No. 3 226,1	No. 4 206,9
No. 5 228,6	No. 6 220,7
No. 7 217,6	No. 8 213,0
No. 9 227,3	No. 10 207,4
Mittel 225,22	Mittel 212,86

Der wahrscheinliche Fehler bei dem ersten dieser Mittelwerthe ist ± 1,3 und bei dem letzten ± 1,73.

Der Unterschied zwischen diesen beiden Mittelwerthen ist 12,36. Das Mittel der sieben Beobachtungen über die Wärme-Entwickelung des Inductionsstromes ist 30,71. Das Verhältnifs zwischen dem Widerstande m und M erhält man durch die Gleichung

$$\frac{\text{Tg. } 18^\circ 45'}{\text{Tg. } 13^\circ 21'} = 1 + \frac{m}{M}$$

woraus $m = 0,430 M$.

Würden 30,71 mit 0,43 multiplicirt, so erhält man 13,21, welche Zahl sich um 0,85 von 12,36 unterscheidet. Diese Reihe führt also zu demselben Resultat wie die vorige.

c. Die Art der Beobachtung in der dritten Reihe wich in etwas von der der beiden früheren ab. Zuerst beob-

achtete man die Wärme-Entwickelung des Inductionsstroms und darauf selbige im Hauptstrom, wenn dieser inducirte und wenn er nicht inducirte; sodann wurde die Wärme des Inductionsstromes wieder gemessen. Für jedwede derartige Combination der Beobachtungen ward das Verhältnifs zwischen *m* und *M* bestimmt. Nachdem diefs geschehen, stellte ich neue Beobachtungen an. *m* war in dieser Reihe bedeutend gröfser in Verhältnifs zu *M*, als in den vorhergehenden, weil die Inductionsrolle einen viel längeren Draht enthielt. Durchschnittlich war $m = 0,88 M$. Das Blitzrad ward während 15 Sekunden umgedreht und am Schlusse der 35sten Sekunde die Lage der Magnetnadel beobachtet. Die inducirende Stromstärke war bei diesen Versuchen so stark, dafs, da die Erwärmung des Platindrahts durch die Einwirkung derselben geschah, die Ausschläge so grofs wurden, dafs die Scale nicht zureichte. Es ward daher ein Widerstand in die Bahn des thermo-elektrischen Stroms eingeschaltet, wodurch die Ausschläge in einem Verhältnifs von 5,704 verringert wurden. In folgender Tabelle sind die Zahlen, welche die Wärme Entwickelung des Inductionsstromes bezeichnen, auf denjenigen Widerstand reducirt, der in dem inducirenden Strom stattfand.

	Wärme-Entwickelung des Inductionsstromes	Daraus Unterschied, wenn der Hauptstrom inducirt und wenn keine Induction stattfindet
No. 1	10,08	14,75
No. 2	8,99	11,00
No. 3	9,43	8,50
No. 4	9,34	8,00
No. 5	9,70	6,00
No. 6	9,58	9,50
	Mittel 9,52	Mittel 9,63.

Der wahrscheinliche Fehler bei dem ersten dieser Mittelwerthe ist $\pm 0,1$ und bei dem zweiten $\pm 0,82$.

Diese Reihe stimmt demnach mit den vorigen überein, obwohl der Unterschied in der Wärme-Entwickelung des Hauptstroms, wenn er inducirt und wenn er nicht inducirt,

hier etwas gröfser ist als die Wärme des Inductionsstroms. Alle drei Reihen führen also zu demselben Resultat, *dafs, wenn eine galvanische Induction in einem geschlossenen Leiter durch Oeffnen und Schliefsen des inducirenden Stromes geschieht, rücksichtlich der Wärme weder Gewinn noch Verlust entsteht. Die Summe der vom Inductionsstrom verursachten Wärme ist gleich dem gesammten Wärmeverlust, der durch die Induction in dem inducirenden Strom entsteht.*

Wenn I die Intensität des inducirenden Hauptstromes in einem gegebenen Zeitmoment, i die Intensität des Inductionstromes, und i_1 die Intensität desjenigen Inductionsstroms zweiter Ordnung, der in der Bahn des Hauptstromes entsteht; wenn ferner M und m den galvanischen Leitungswiderstand in der Hauptleitung und in der Bahn des Inductionsstromes bezeichnen, so hat man in Folge des Vorhergegangenen

$$M\int I^2\,dt - M\int (I - i_1)^2\,dt = m\int i^2\,dt, \text{ oder}$$
$$M\int (2Ii_1 - i_1{}^2)dt - m\int i^2\,dt = 0 \quad . \quad . \quad . \quad (A)$$

wobei die Gränzen der Integrale die Zeit für den Anfang und den Schlufs der Induction sind.

8. Um durch die Annäherung der Inductionsbahn an den inducirenden Strom, so wie durch ihre Entfernung von demselben einen so starken Inductionsstrom zu erhalten, dafs dessen Wärme-Entwickelung mit genügender Genauigkeit gemessen werden könnte, liefs ich folgenden Apparat anfertigen. In Fig. 2 Taf. II stellt *ABCD* einen Theil eines Holzgestelles dar, worin eine Rolle *ab* aus Messing festgemacht ist. Diese Rolle, welche einen inneren Diameter von 200^{mm} hat und 60^{mm} breit ist, ist in mehreren Schichten von einem übersponnenen Kupferdraht umwunden, der bei den Schraubstöcken *c* und *d* endigt. In dieser Rolle befindet sich eine andere Messingrolle *ef*. Der innere Durchmesser dieser Rolle beträgt 175^{mm}, der äufsere 190^{mm} und ihre Breite 34^{mm}. In der Verlängerung eines und desselben Durchmessers sind auf den emporgebogenen Rändern dieser Rolle zwei Stahlcylinder festgeschroben, von

denen der eine bei *g* durch die äufsere Rolle geht, bei *h* von einem Lager umgeben, und das Ende desselben bei *k* in eine Messingscheibe eingesteckt ist. Das Lager *h* und die Messingscheibe *k* sind an dem Holzgestell befestigt. Auf dem Stahlcylinder sitzt bei *i* eine aus Messing verfertigte Rollscheibe. Fig. 3 Taf. II zeigt wie der Stahlcylinder an die innere Rolle *e' f'* befestigt ist; *g'* ist das genannte Lager und *i* die Rollscheibe. Damit der Stahlcylinder nicht in Berührung mit der äufsern Rolle und den darum gewundenen Draht komme, hat das Loch, durch welches der Cylinder geht, eine knöcherne Fütterung. Der zweite Stahlcylinder, welcher in der Figur nicht sichtbar ist, ist bei *l* an der inneren Rolle befestigt, jedoch so, dafs sie in keiner leitenden Verbindung mit einander stehen. Um die Isolirung zu bewerkstelligen, ist beim Festschrauben eine knöcherne Scheibe zwischen sie gelegt. Dieser Cylinder, der sehr kurz ist, ist konisch zugespitzt und pafst in eine an der äufsern Rolle angebrachte konische Vertiefung. Die innere Rolle ist in mehreren Schichten von einem übersponnenen Kupferdraht umwickelt. Das eine Ende dieses Kupferdrahts steht in leitender Verbindung mit dem oberen Stahlcylinder, und das andere mit dem unteren konisch zugespitzten. Beide Messingrollen sind bei *m* aufgeschnitten, so dafs in ihnen keine Inductionsströme entstehen können. An jedem der mehrgenannten Stahlcylinder befindet sich eine Stahlfeder *n* und *p* (*p'* Fig. 3). Diese Federn sind an Messingscheiben befestigt, die im Holzgestell festgeschroben sind. Der Druck dieser Federn gegen die Stahlcylinder konnte, mittelst einer zu diesem Zwecke angebrachten Vorkehrung an den Messingscheiben, nach Belieben vermehrt oder vermindert werden. Um einigermafsen einer Oxydirung vorzubeugen, waren die Stahlfedern da, wo sie die Cylinder berührten, mit Platin belegt. Bei den Versuchen liefs der Contact der oberen Feder nichts zu wünschen übrig, dagegen geschah es mehrmals, dafs die Leitung zu der unteren Feder unterbrochen wurde. Die Ursache hiervon war die, dafs etwas weniges von dem Oel, womit zur

Verhinderung stärkerer Reibung das Ende des konischen Cylinders eingeschmiert werden mufste, sich bis zur Contactstelle hinzog. Eine an dem Cylinder, zwischen dieser Stelle und der konischen Spitze, befestigte kleine Scheibe vermochte nicht diesen Uebelstand zu beseitigen. Es wäre daher ohne Zweifel besser gewesen, wenn man das untere Lager ungefähr in ähnlicher Weise angeordnet hätte wie das obere. Die Linie, in welcher die beiden Stahlcylinder lagen, oder was dasselbe ist, die Rotationsaxe der inneren Rolle, bildete mit der Horizontal-Fläche einen Winkel von ungefähr 70 Grad. Das Holzgestell war der Art im Fufsboden festgeschroben, dafs die Fläche der festen Rolle im magnetischen Meridian lag, wobei die Rotationsaxe der inneren Rolle einigermafsen parallel ward mit der Richtung der erdmagnetischen Inclinationsnadel. Diefs ward für nöthig gehalten, um der Induction des Erdmagnetismus auszuweichen. Wenn die innere Rolle stark rotirte, veränderte sie in Folge der Centrifugalkraft ihre Form in eine elliptische, wobei der untere konische Stahlcylinder aus der Vertiefung der äufseren Rolle hüpfte. Um diefs zu verhindern mufste ein Holzcylinder *w* in der Richtung der Rotationsaxe angebracht werden. Die Rotation ward mittelst zweier Räder bewerkstelligt, von denen nur das eine *x* in der Figur anschaulich gemacht ist. Sie waren beide von Holz, um nicht in der einen oder andern Weise durch Induction auf die beiden Rollen einzuwirken. Ueber das in der Figur ausgelassene Rad, welches mit einer Kurbel versehen war, ging eine Schnur *t't'* zu der an derselben Axe wie das Rad *x* sitzenden Messingrolle *s*. Eine andere Schnur *tt* ging um das Rad *x* unter der Messingrolle *r* zu der an der Rotationsaxe der Drahtrolle befestigten Messingrolle *i*. Wenn die Kurbel *ein* Mal umgedreht wurde, drehte sich die Drahtrolle 90 Male ganz herum. Bei allen Versuchen ward die Kurbel ein Mal in zwei Sekunden umgedreht; die Drahtrolle machte demnach 45 ganze Umdrehungen in der Sekunde.

Der inducirende Hauptstrom ging bei den Versuchen

durch die äufsere Rolle. Eine in den Hauptstrom eingeschaltete Sinus-Bussole zeigte, dafs die Stromstärke gleich grofs war, die geschlossene innere Rolle mochte rotiren oder sich in Ruhe befinden. Man konnte also keine durch die Inductionsströme zweiter Ordnung hervorgerufene Veränderung der elektromotorischen Kraft der galvanischen Säule verspüren. Die Polarisation, die ohne Zweifel auch jetzt nicht mangelte, zeigte sich, da der Strom fortwährend geschlossen war, in unveränderlicher Stärke und verursachte daher keine Veränderung in der Stromstärke. Dieser Umstand gestattete eine bedeutende Vereinfachung der Beobachtungsweise. Da man nämlich darauf rechnen durfte, dafs die inducirende Stromstärke sich unverändert gleich blieb, ob Induction stattfand oder nicht, so brauchte man nicht, wie bei den früheren Beobachtungsreihen, dem inducirenden Strom eine andere Richtung zu geben, um ein Maafs für denjenigen Theil desselben, der dem thermo-elektrischen Strom bis zum Magnetometer folgte, zu erhalten; denn dieser Stromtheil war hier unverändert derselbe. Um in Betreff des Unterschiedes zwischen den Wärmemengen, die vom Hauptstrom hervorgebracht wurden, wenn er inducirte und wenn er nicht inducirte, ein Maafs zu erhalten, brauchte man nur die Ausschläge am Magnetometer, die man in diesen beiden Fällen erhielt, zu subtrahiren; ein Verfahren, das durch die vorher aufgestellte Gleichung (7) gerechtfertigt wird.

a. In der folgenden Beobachtungsreihe ward zuerst die innere Rolle mit dem Platindraht, auf dem die thermo-elektrische Säule festgeschroben war, in Verbindung gesetzt und der andere Platindraht ward in den Hauptstrom gebracht. Darauf liefs man die innere Rolle rotiren, und nachdem die Schnelligkeit constant geworden (15 Umdrehungen in der Sekunde), ward der Hauptstrom mittelst eines Strombrechers geschlossen und die Rotation während 30 Sekunden fortgesetzt, alsdann wurde der Hauptstrom geöffnet und in der 50sten Sekunde die Lage der Magnetnadel beobachtet. Nachdem auf diese Weise die Wärme-Entwickelung des Inductionsstromes bestimmt worden, brachte

man den Platindraht, auf welchem die Säule festgeschroben war, in den Hauptstrom und schlofs mit dem andern Platindraht die Inductionsrolle; hierauf ward die innere Rolle in Bewegung gesetzt und, nachdem ihre Schnelligkeit 45 Umdrehungen in der Sekunde erreicht hatte, der Hauptstrom geschlossen, und die Rotation mit unveränderter Schnelligkeit während 30 Sekunden fortgesetzt; nachdem diese verstrichen, öffnete man den Hauptstrom und beobachtete sodann in der 50sten Sekunde den Ausschlag der Magnetnadel. Endlich wiederholte man diesen letzten Versuch mit dem Unterschiede, dafs die innere Rolle in Ruhe gehalten wurde und der Inductionsdraht offen war. Der Unterschied zwischen den beiden letzten Ausschlägen giebt einen Ausdruck für den Unterschied zwischen den Wärmemengen, die während 30 Sekunden vom Hauptstrom erzeugt werden, wenn er inducirt und wenn er nicht inducirt. Derjenige Theil des Hauptstroms, der zum Magnetometer mitfolgte, wirkte in dieser Reihe, in der der Erwärmung entgegengesetzten Richtung.

No. 1 [1]) . . . 78,0 ⎫ Wärme-Entwickelung des Inductionsstromes.
No. 2 . . . . . 75,0 ⎭

Ausschläge des Hauptstroms.

Ohne Induction.	Mit Induction.
No. 3 295,0	No. 5 315,0
No. 4 297,0	No. 6 292,0
No. 7 290,0	No. 9 287,0
No. 8 282,0	No. 10 302,0
No. 11 292,0	No. 12 284,0
No. 13 287,0	No. 14 295,0
Mittel 290,5	Mittel 295,8.

No. 15 . . . . . 80,0 ⎫
No. 16 . . . . . 77,0 ⎪ Wärme des Inductionsstromes
No. 17 . . . . . 73,0 ⎪
No. 18 . . . . . 74,0 ⎭

Das Mittel der Wärme aller Inductionsströme = 76,2.

1) Diese Zahlen bezeichnen die Reihenfolge, in der die Versuche gemacht wurden.

Das Verhältniſs zwischen dem Widerstand in der rotirenden Rolle (m) und in der festen (M) war $m = 0{,}274\ M$.

Wenn die Wärme-Entwickelung bei dieser Art der Induction sich eben so verhielte, wie wenn der inducirende Strom geöffnet und geschlossen wurde, so muſste das Mittel der Beobachtungen, die angestellt wurden, als die Induction stattfand, geringer seyn als das Mittel der Beobachtungen, wenn der Hauptstrom nicht inducirte. Hätte keine Wärme-Entwickelung stattgefunden, so würde das erste Mittel 20,88 ($= 76{,}2 \times 0{,}274$) Einheiten geringer geworden seyn als das letzte, statt dessen aber ward es 5,3 Einheiten gröſser. Bei dieser Art Induction wird also Wärme entwickelt. Der Ueberschuſs 5,3 rührt groſsentheils von der sicherlich fehlerhaften Beobachtung No. 5 her; wenn aber diese Beobachtung ganz ausgeschlossen wird, erhält man als Mittel 292,0 und folglich ein gröſseres als das andere. Der Ueberschuſs an Wärme-Entwickelung wird durch die Wärme gebildet, die sich aus dem Inductionsstrom entwickelt, während die Wärme-Erzeugung im Hauptstrom nahezu constant zu seyn scheint.

b) Folgende Versuchsreihe ward in fast eben derselben Weise, wie die vorige angestellt. Eine in dem Hauptstrom angebrachte Sinusbussole ergab die Stromstärke $= \sin 37° 30'$.

Wärme-Entwickelung des Inductionsstromes.	Ausschläge des Hauptstromes ohne Induction	Ausschläge des Hauptstromes mit Induction
No. 1 48,0	No. 2 166,0	No. 3 163,0
No. 4 47,0	No. 5 169,0	No. 6 161,0
No. 9 50,0	No. 7 167,0	No. 8 160,0
No. 12 51,0	No. 10 164,0	No. 11 171,0
No. 15 49,0	No. 13 162,0	No. 14 164,0
No. 18 51,0	No. 16 171,0	No. 17 168,0
No. 23 49,0	No. 20 166,0	No. 19 172,0
Mittel 49,3	No. 21 168,0	No. 22 176,0
	Mittel 166,6	Mittel 166,9.

Das Verhältniſs zwischen m und M war ungefähr wie in der ersten Reihe, nämlich $m = 0{,}26\ M$.

Auch in dieser Reihe ist das bei der Induction erhal-

tene Mittel eben so grofs, wie das andere. Hätte keine Wärme-Entwickelung stattgefunden, so würde dieses Mittel 12,8 (= 49,3 × 0,26) Einheiten weniger als das andere betragen haben.

a. In der letzten Reihe war die Stromstärke = sin 55°. Die Beobachtungsweise war dieselbe wie in der vorigen Reihe.

Wärme-Entwickelung des Inductionsstromes	Ausschläge des Hauptstromes ohne Induction	Ausschläge des Hauptstromes mit Induction
No. 3 86,0	No. 1 . . . 278,0	No. 2 . . . 276,0
No. 6 93,0	No. 5 281,0	No. 4 . . . 284,0
No. 8 94,0	No. 9 [1]) . . 254,0	No. 7 [1]) . . 259,0
No. 10 91,0	Mittel 271,0	Mittel 273,0.
Mittel 91,0		

Das Verhältnifs zwischen *m* und *M* war hier wie in der ersten Reihe *m* = 0,27 *M*. Hätte keine Wärme-Entwickelung stattgefunden, so würde das letzte Mittel 24,6 (= 91,0 × 0,27) Einheiten geringer gewesen seyn als das erste.

Vergleicht man die Inductionsströme in den zwei letzten Versuchsreihen mit einander und mit den Quadraten der Stromstärken, so erhält man:

$$\frac{(\sin 55)^2}{(\sin 37°.30')^2} = 1,811.$$

Wird 1,811 mit 49,3 multiplicirt, so erhält man 89,28, was sich nicht viel von 91,0 unterscheidet. Die Wärme dieser Inductionsströme ist demnach proportional dem Quadrat der inducirenden Stromstärke.

Die drei angeführten Beobachtungsreihen führen also gemeinsam zu dem Resultat, dafs die Induction dieser Art eine Wärme-Entwickelung verursacht, und diese ist gleich der Summe derjenigen Wärme, welche der entstandene Inductionsstrom entwickelt. Die Wärme-Entwickelung im Hauptstrom ist eine und dieselbe, mag eine Induction stattfinden oder nicht.

1) Bei den Beobachtungen No. 7 und No. 9 waren die Ausschläge bedeutend geringer als vorher, welches wahrscheinlich von einer veränderten Lage der thermo-elektrischen Säule herrührte.

Man wird leicht einsehen, dafs die dynamische Einwirkung des Hauptstromes und des Inductionsstroms auf einander ein Hindernifs ist für die Rotation der inneren Rolle, in welcher Lage diese sich auch befinden mag. Da nämlich Induction durch die Entfernung der Inductionsbahn von dem inducirenden Strom verursacht wird, so entsteht zwischen ihnen Attraction, und geschieht jene durch Annäherung, so entsteht Repulsion. Das hierdurch entstandene Hindernifs für die Bewegung, welches von der Kraft bewältigt werden mufs, welche die Rolle in Rotation versetzt, ist in einem gegebenen Zeitmoment proportional der Intensität des inducirenden Stromes multiplicirt mit der gleichzeitigen Intensität des Inductionsstromes. Bei unveränderter Schnelligkeit ist die Intensität des Inductionsstromes proportional derjenigen des inducirenden Stromes. Hieraus geht also hervor, dafs die mechanische Arbeit, die in Folge der Einwirkung des Haupt- und des Inductionsstromes auf einander bei der Rotation verbraucht wird, proportional ist dem Quadrat der Intensität des Hauptstromes. In dem Vorhergehenden ist nun dargethan, dafs der bei der Induction besagter Art entstandene Wärme-Ueberschufs demselben Quadrat proportional ist. Es ist demnach der experimentelle Beweis geliefert, *dafs — wenn mechanische Arbeit durch galvanische Induction verbraucht wird — eine Wärmemenge entsteht, die der verbrauchten mechanischen Arbeit proportional ist.*

Wenn J, i, i_1, m und M dieselbe Bedeutung haben wie früher, so ist der allgemeine Ausdruck für die durch die Induction erzeugte Wärmesumme

$$m\int i^2\,dt + M\left[\int (J - i_1)^2\,dt - \int J^2\,dt\right];$$

wo die Gränzen der Integrale die Zeiten sind für den Beginn und den Schlufs, wobei noch bemerkt werden mag, dafs i_1 zwischen diesen Gränzen die Richtung verändert.

Zufolge der drei vorhergehenden Beobachtungsreihen ist diese Wärmesumme proportional der bei der Induction verbrauchten mechanischen Arbeit. Ist C eine Constante und A die besagte Arbeit, dann ist demzufolge:

$$m\int i^2\,dt + M\left[\int (J - i_1)^2\,dt - \int J^2\,dt\right] = CA \quad (B).$$

Wenn die Induction ohne Verbrauch mechanischer Arbeit geschieht, d. h. wenn jene durch Schliefsen und Oeffnen des inducirenden Stromes verursacht wird, so erhält man wiederum, dadurch dafs man in der Gleichung (*B*) $A = O$ macht, die für diesen Fall aufgestellte Gleichung (*A*).

9. Die mechanische Wärmetheorie besagt nur, dafs die entstandene Wärme proportional seyn mufs der verbrauchten mechanischen Arbeit, ohne auf irgend eine Weise die innere und nächste physische Ursache dieses Ueberganges von der einen dieser Bewegungsformen in die andere zu bestimmen. Das mechanische Wärmeäquivalent-Gesetz ist ein Princip, das in jedem einzelnen Falle durch Experimente bewiesen werden mufs, ehe man demselben volle Gemeingültigkeit beilegen kann, denn es legt in keiner Weise den inneren physischen Verlauf bei dieser Transformation der Bewegung dar. Besagtes Gesetz macht so zu sagen das äufsere Band zwischen den betreffenden Naturerscheinungen aus, erklärt aber nicht, auf welche Weise und durch welche physische Mittel diese Verbindung geschieht. Ich will nun schliefslich die physische Ursache andeuten, weshalb bei der einen der beiden galvanischen Inductionsarten Wärme entsteht, bei der andern aber nicht.

Während die innere Rolle mit constanter Schnelligkeit rotirt, entsteht in derselben ein Inductionsstrom. Wenn man den Anfang der Rotation von dem Augenblicke an rechnet, wo die bewegliche Rolle die Mitte der festen passirt, geht der in der beweglichen Rolle entstehende Inductionsstrom während der ersten Hälfte des ganzen Umlaufs immer in derselben Richtung. Der Inductionsstrom ist in der zweiten Hälfte des ganzen Umlaufs dem vorigen in jeder Beziehung gleich, mit dem Unterschiede jedoch, dafs er eine entgegengesetzte Richtung hat. Die Einwirkung dieser beiden Inductionsströme auf den Hauptstrom mufs demnach ebenfalls vollkommen gleich seyn, wenn wir dabei ausnehmen, dafs, wenn die Stromintensität in der Hauptbahn von dem einen vermehrt wird, sie von dem andern

vermindert wird. Wenn nun Ox und Oy (Fig. 4 Taf. II) zwei rechtwinklige Coordinataxen darstellen, und die Zeit (t) nach der Abscisse und die Stromintensität nach der Ordinate gerechnet wird, so bezeichnet der Abstand zwischen der Abscisse und der mit dieser parallelen geraden Linie $abcd$ die Stromintensität, wenn diese constant ist. Wenn A diesen Abstand bezeichnet, so ist die Wärme-Entwickelung des Hauptstromes während der Zeit eines ganzen Umlaufs ($= 2t_0$) proportional mit $2A^2 t_0$. Geschieht dagegen die Induction durch die Rotation der beweglichen Rolle, so kann die Intensität in der Hauptbahn mit der krummen Linie aef bezeichnet werden, welche die gerade Linie bei der Zeit t_0 schneidet und deren erste Hälfte gleich der zweiten ist, nur dafs die eine über, die andere unter der geraden Linie $abcd$ liegt. Ist y die Intensität der Inductionsströme zweiter Ordnung für einen bestimmten Zeitmoment, so erhält man für die gesammte Wärme-Entwickelung in der Hauptbahn:

$$\int_0^{t_0}(A-y)^2\,dt+\int_{t_0}^{2t_0}(A+y)^2\,dt.$$

Weil $\int_0^{t_0} y\,dt = \int_{t_0}^{2t_0} y\,dt$, so wird dieser Ausdruck reducirt zu

$$2A^2 t_0 + 2\int_0^{t_0} y^2\,dt.$$

Das letzte Integral repräsentirt deutlich die Wärme, welche die Inductionsströme entwickelt haben würden, falls diese allein in der Hauptbahn gewesen wären. Diese Wärmemenge ist sehr geringe und ward bei den oben erwähnten Beobachtungsreihen kaum bemerkt. Die Mittelwerthe, welche die Wärme-Erzeugung während der Induction ausdrücken, sind jedoch alle etwas gröfser als die anderen; sie machen nämlich in der ersten Reihe einen Ueberschufs von 5,3, in der zweiten von 0,3 und in der dritten von 2,0 Einheiten aus. Diese Zahlen sind jedoch so klein, dafs man sie als durchaus zufällige betrachten kann. Man wird aber leicht einsehen, dafs, hätte diese geringe Wärmemenge gemessen

werden können, sie sich dem Quadrat der Intensität des Hauptstromes hätte proportional erweisen müssen. Das im vorigen aufgestellte Verhältniſs zwischen der mechanischen Arbeit und der entwickelten Wärmesumme war demnach unverändert geblieben. Ganz anders verhält es sich, wenn das Schlieſsen oder Oeffnen des Hauptstroms die Induction verursacht. Es möge für diesen Fall *oabc* (Fig. 5 Taf. II) die Steigung des Hauptstromes beim Schlieſsen darstellen. Diese Steigung kann selbstverständlich jederlei Art seyn, hier wird sie jedoch durch eine gerade Linie bezeichnet. Beim Schlieſsen wird in dem Inductionsdraht ein Strom inducirt, der die entgegengesetzte Richtung des Hauptstromes hat. Wie dieser Inductionsstrom auch sey, so muſs doch dessen Intensität anfangs von Null bis zu einem gewissen Maximum steigen und schlieſslich von einem gewissen Maximum bis Null heruntergehen. Der Einfachheit wegen nehme ich an, daſs der Inductionsstrom nur ein Intensitätsmaximum habe, wiewohl dieselbe Betrachtung sich auf den Fall erstrecken kann, daſs er mehrere hat. Der Inductionstrom verursacht alsdann zwei sekundäre Ströme in der Hauptbahn, von denen der erste in derselben, letzteren aber in der dem Hauptstrome entgegengesetzten Richtung geht. Die krumme Linie *ombef* stellt die dadurch entstehende Steigungscurve dar. Da die inducirte Elektricitätsmenge bei der Steigung eben so groſs seyn muſs wie beim Fallen, so ist die Fläche *omba* = *bef*. Wenn A die veränderliche Intensität des Hauptstromes ist, y die Intensität des ersten und y_1 die des zweiten secundären Inductionsstromes, wenn ferner die Curve die gerade Steigungslinie bei der Zeit t' schneidet und die Induction bei der Zeit t_1 endigt, so hat man als Ausdruck für die erzeugte Wärmemenge

$$\int_0^{t'}(A+y)^2\,dt+\int_{t'}^{t_1}(A-y_1)^2\,dt \quad \text{oder}$$

$$\int_0^{t_1}A^2\,dt+\int_0^{t'}(2A+y)y\,dt-\int_{t'}^{t_1}(2A-y_1)y_1\,dt.$$

Wenn der Werth der Ordinate $db = A'$ und von $ef = A_0$, so ist jeder Werth von $2A + y$ in dem ersten Integral $< 2A'$, und jeder von $2A - y$ in dem letzten Integral $< 2A_0$ aber gröfser als $2A'$. Man kann daher den vorigen Ausdruck für die entwickelte Wärmemenge unter der Form schreiben:

$$\int_0^{t_0} A^2\, dt + B\int_0^{t'} y\, dt - C\int_{t'}^{t_0} y_1\, dt;$$

wo B eine Constante ist, deren Werth zwischen 0 und $2A'$ und der Werth von C zwischen $2A'$ und $2A_0$ liegt. Die beiden letzten Integrale bezeichnen die Elektricitätsmengen der beiden sekundären Ströme und diese sind dem Vorhergehenden zufolge gleich grofs. Der Unterschied der zwei letzten Glieder ist also negativ (weil $C > B$), und der Werth der ganzen Formel ist kleiner als der des ersten Gliedes dieser Formel, das die Wärmemenge bezeichnet, welche hervorgebracht wird, wenn der Strom ohne Induction geschlossen wird. Die im Hauptstrom entwickelte Wärmemenge wird demnach durch die Induction vermindert. Dasselbe geschieht beim Oeffnen des Stromes. Hier geht, wie die Figur zeigt, der erste sekundäre Strom in der dem Hauptstrom entgegengesetzten Richtung. Dafs die Verminderung der erzeugten Wärmemenge *eben so grofs* wie die Wärme-Erzeugung des primären Inductionsstromes in seiner Bahn wird, ist durch die früher angeführten Beobachtungen bewiesen.

10. Werden die Resultate der vorhergehenden Untersuchung zusammengestellt, so ergeben sich folgende Resultate:

1) *Die Wärme-Entwickelung galvanischer Inductionsströme in einem gegebenen Zeitmoment ist proportional dem Quadrat der Intensität des Inductionsstroms in demselben Zeitmoment. Wird die Intensität des Inductionsstromes durch i bezeichnet, so ist demnach die gesammte Wärme-Entwickelung des Inductionsstromes proportional*

$$\int i^2\, dt;$$

wenn man die Zeit des Anfangs und Endes des Inductionsstromes als die Gränzen des Integrals annimmt.

2) *Grove's Beobachtung, dafs weiches Eisen erwärmt wird, wenn man es magnetisirt oder demagnetisirt, hat bei dem vorher angeführten Versuch ihre Bestätigung gefunden. Diese Erwärmung, deren Proportionalität mit dem Quadrat der magnetisirenden Stromstärke diese Versuche darthun, kann nicht durch eine bei der magnetischen Intensitätsveränderung entstandene Reibung der Moleküle des Magnets verursacht seyn (Grove), sondern rührt ohne Zweifel von den Inductionsströmen her, welche theils durch die Inductionsspirale, theils auch durch die Veränderung in dem magnetischen Zustande des Eisens, inducirt werden; welche letztere Ströme bei einer magnetischen Veränderung immer circuliren, der Magnet möge aussehen oder geformt seyn, wie er wolle.*

3) *Wenn galvanische Inductionsströme in einem geschlossenen Leiter inducirt werden dadurch, dafs der inducirende Hauptstrom geschlossen und geöffnet wird, so entsteht durch die Induction weder Gewinn noch Verlust an Wärme. Die Wärmemenge, die vom Inductionsstrom erzeugt wird, ist nämlich eben so grofs wie die Verminderung der Wärme-Entwickelung, die durch die Induction in dem inducirenden Hauptstrom entsteht. Wenn J die Intensität des inducirenden Hauptstromes, i die Intensität des Inductionsstromes bezeichnet, und i_1 die Intensität desjenigen Inductionsstromes zweiter Ordnung, welche im Hauptstrom entsteht: ferner M den galvanischen Leitungswiderstand in der Bahn des Hauptstroms, und m den Widerstand im Inductionsleiter, so ist:*

$$M\int(2Ji_1 - i_1^2)dt - m\int i^2 dt = 0;$$

wo die Gränzen der Integrale die Zeiten sind für den Anfang und den Schlufs der Induction.

4) *Inducirt man dagegen galvanische Inductionsströme durch eine Annäherung der Inductionsbahn an, oder eine Entfernung derselben von dem inducirenden Hauptstrome, dann entsteht Wärme durch die Induction. In diesem Falle ist die Wärmeproduction proportional mit der mechanischen*

Arbeit, die nöthig ist, um die Inductionsbahn dem inducirenden Hauptstrom zu nähern, oder sie von demselben zu entfernen. Wenn J, i, i_1, M und m die frühere Bedeutung haben, A die genannte mechanische Arbeit bezeichnet und C eine Constante ist, so erhält man für diesen Fall:

$$m\int i^2 dt + M[\int (J - i_1)^2 dt - \int J^2 dt] = CA;$$

wo die Gränzen des Integrals dieselben sind als vorher. Wenn in dieser Gleichung A gleich gemacht wird mit Null, so erhält man dieselbe Gleichung wie in No. 3. Diese letzte Gleichung drückt demnach die allgemeine Bedingung aus, der bei der Induction Genüge geleistet werden mufs, möge die Induction durch eine Intensitätsveränderung des inducirenden Hauptstromes, oder durch Annäherung oder Entfernung der Inductionsbahn geschehen.

Stockholm, im Februar 1864.

II. *Beobachtungen über die Dämmerung; von Wilhelm von Bezold.*

Bereits seit einer Reihe von Jahren hatte bei einem regelmäfsig im Herbste wiederkehrenden Aufenthalte in den Alpen die Erscheinung des sogenannten Nachglühens [1]) meine Aufmerksamkeit erregt. Im letztverflossenen August und September bot sich mir die schönste Gelegenheit, dieselbe an verschiedenen Punkten der Alpen zu beobachten. Hierbei fiel mir auf, dafs das ebengenannte Nachglühen an Gebirgen, welche, östlich vom Beobachter gelegen, helle

1) S. De la Rive, *Report of the seventh Meeting of the Brit. Ass. f. Ad. of Sc. Trans. of Sect. p.* 19. Pogg. Ann. Bd. 46, S. 511.

Necker (de Saussure), *Ann. de chim. et de phys. tome* 70, *p.* 113 *ff et p.* 225 *ff.*

Wolf, Mittheilung der naturf. Gesellsch. in Bern v. J. 1852 S. 49.

A. und H. Schlagintweit, Neue Unters. über d. phys. Geog. der Alpen 1854 Cap. XIV, S. 402 ff.

Felswände oder Schneeflächen gegen Westen kehren, des Abends stets gleichzeitig mit einem eigenthümlichen purpurfarbenen Lichte am Westhimmel eintrat, während das analoge Phänomen sich des Morgens zeigte.

Diese Erscheinung, von welcher ich trotz ihres Glanzes nirgends gelesen hatte, und die auch mir früher stets entgangen war, weil die beleuchteten Gebirge meinen Blick gefesselt hielten, veranlafste mich, nach meiner Rückkehr nach München, sowohl der Literatur [1]) über diesen Gegenstand nachzugehen, als auch die in der Dämmerung auftretenden Phänomene in unserer Ebene, die einen fast vollkommen freien Horizont gewährt, anhaltend und aufmerksam, zum Theile messend zu verfolgen.

Dabei gelangte ich zu dem Resultate, dafs trotz der ausgedehnten Literatur, welche besonders aus älterer Zeit über die Dämmerung existirt, nicht einmal eine richtige und vollständige Beschreibung, geschweige eine einigermafsen genügende Theorie des Dämmerungsvorganges vorhanden ist, sondern, dafs hier sowohl für die Beobachtung, als für theoretische Untersuchungen noch ein reiches Feld unerschlossen vor uns liegt.

Wenn ich es wage, die Resultate meiner Beobachtungen schon jetzt, noch ehe ein weitergehender Abschlufs, als eine erfahrungsmäfsige Feststellung der Thatsachen im Grofsen und Ganzen erzielt worden ist, der Oeffentlichkeit zu übergeben, so geschieht diefs aus doppeltem Grunde: Erstens befinde ich mich wegen Mangel eines geeigneten Locales nicht in der Lage, fortgesetzte, mit genauen Messungen verbundene Beobachtungsreihen anzustellen, anderseits aber erscheint es mir sehr wünschenswerth, noch ehe man an eine mathematische Untersuchung des Gegenstandes herantritt, Beobachtungsreihen von möglichst verschiedenen Punkten zu besitzen, um das rein Locale vom Wesentlichen trennen zu können.

Mithin ist es ein Hauptzweck dieser Zeilen andere Beob-

1) Man findet dieselbe fast vollständig in: Kämtz Meteorologie Bd. III, S. 50 ff und Forbes, Pogg. Ann. Ergänzungsbd. I. S. 49 ff.

achter, vor Allem Astronomen, wissenschaftliche Reisende usw. auf diesen Gegenstand aufmerksam zu machen, und ihnen eine Vorarbeit für weitere Untersuchungen zu liefern.

Es soll demnach zuerst eine Beschreibung der Abenddämmerung gegeben werden, wie sie sich, abgesehen von den individuellen Eigenthümlichkeiten einzelner Tage, an jedem wolkenfreien [1]) Abend hier in München beobachten läfst, unter Zugrundelegung von 24 Beobachtungsreihen, welche in der Zeit vom 20. Oct. 1863 bis zum 15. April 1864 theilweise nur unter Anwendung von Zeitbestimmungen, theilweise auch mit Winkelmessungen verbunden, angestellt wurden, ungerechnet die auch noch aufserhalb dieses Zeitraums gelegentlich gemachten Beobachtungen. Eine kurze Beschreibung der entsprechenden Erscheinungen in den Alpen wird geeignet seyn, den Zusammenhang zwischen dem Nachglühen, und dem Dämmerungsvorgange, wie man ihn in der Ebene beobachtet, vor Augen zu stellen. Wenige Worte werden hinreichen um zu zeigen, welche und in wiefern sich die Erscheinungen messend verfolgen lassen.

Im zweiten Theile sollen alsdann die Ergebnisse einzelner Messungsreihen angeführt werden, um sowohl das im ersten entworfene Bild zu vervollständigen und zu präcisiren, als auch, um eine Grundlage zu gewinnen für eine Discussion, deren Zweck es ist, das Ungenügende und Falsche der bisherigen Anschauungen zu beleuchten.

Wenn ich den kritischen Theil ganz gegen den sonstigen Gebrauch erst am Schlusse bringe, so geschieht diefs, um im Gegensatze zu den bisherigen Beschreibungen — denn nur die von Necker, obwohl unvollständig, ist von diesem Vorwurf auszunehmen, sie scheint jedoch späteren Schriftstellern über diesen Gegenstand entgangen zu seyn — dem Leser das Bild der Erscheinungen ebenso rein und

1) Unter »wolkenfrei« verstehe ich hier nur die Abwesenheit gröfserer Wolkenmassen, insbesondere am West- und Osthimmel. Einzelne Wölkchen, besonders im Norden und Süden, können selbstverständlich auf den Gang der Erscheinungen im Allgemeinen nicht von Einflufs seyn.

frei von hineingetragenen falschen theoretischen Anschauungen zu entwerfen, wie ich es selbst aus den Beobachtungen gewonnen habe, noch ehe ich mich irgend mit der Literatur bekannt gemacht hatte.

I.

§. 1. Sobald an einem wolkenfreien Abend die Sonne sich dem Horizonte nähert, nimmt der unterste Theil des Himmels ringsherum eine Farbe an, welche sich stärker von der der darüber befindlichen Partieen unterscheidet, als diefs bei höherem Stande der Sonne der Fall ist.

Im Westen, worunter hier ein- für allemal der Theil des Himmels verstanden werden soll, welcher im Vertical der Sonne auf Seite der letzteren liegt, während das Entgegengesetzte vom Osthimmel gelten soll, ist diese Farbe Anfangs eine äufserst transparente weifse mit der Zeit ins Gelbe übergehende, während sie im Norden und Süden einen trüberen, zuerst schwach dann etwas stärker, ockergelben Ton annimmt, im Osten aber aus einem schmutzig ockergelben mit der Zeit in einen trüb purpurnen übergeht. Dicht am Horizonte ist die Färbung ringsherum eine trübere, während sich in etwas gröfserer Höhe meist eine klarere Schicht bemerkbar macht. Die purpurnen Töne im Osten nähern sich am Horizonte dem Grauen, Aschfarbenen und verlaufen gegen oben allmählich ins Blau des Himmels, so dafs sie bei Sonnenuntergang in einer Höhe, welche nach der Beschaffenheit der Atmosphäre zwischen 6 und 12 Grad schwankt, nicht mehr erkennbar sind. Manchesmal zeigt sich zwischen dem klaren, durchsichtigen Blau des Himmels und dem trüben Purpur in der Umgebung des Horizontes eine weifsliche auch ins Gelbliche spielende hellere Schicht.

Sobald die Sonne unter den Horizont herabgesunken ist, erhebt sich am Osthimmel der aschfarbene (so glaube ich die Farbe richtiger bezeichnen zu können als mit dem Worte »blau«, wie sonst üblich ist) Erdschatten in der

Gestalt des von Le Mairan zuerst beschriebenen [1]) dunklen Segmentes.

Dieses dunkle Segment scheint sich nun förmlich über den purpurnen Theil des Himmels heraufzuschieben, so dafs dieser einen zusehends schmäler werdenden Gürtel, den *ersten östlichen Dämmerungsbogen* oder die *erste Gegendämmerung* bildet. Da der obere Theil dieser hellen Zone keine oder nur eine sehr geringe Bewegung nach oben ausführt, so wird sie früher oder später vollständig von dem dunklen Segment verdrängt, gleichsam überdeckt, je nachdem sie sich bis zu einer geringeren oder gröfseren Höhe erstreckt hatte. Sobald das dunkle Segment nicht mehr durch diesen helleren Gürtel von dem darüber ausgebreiteten bereits ziemlich dunklen Himmel getrennt ist, kann seine Gränze nicht mehr wahrgenommen werden, höchstens unterscheidet sich der dem Segment entsprechende bogenförmige Raum durch seinen aschfarbenen Ton von den höheren Theilen des Himmels. Diefs widerspricht den bisher geltenden theoretischen Anschauungen und den darauf gegründeten Beschreibungen. Nur bei Bergmann [2]) finde ich diese Thatsache entschieden ausgesprochen, aus der Beschreibung von Morse [3]) kann man sie herauslesen. Mir ist es nie gelungen das dunkle Segment weiter als bis zu einer Höhe von 12° zu verfolgen, meistens entschwand es sogar schon in der halben Höhe meinen Blicken.

Was die Gestalt des dunklen Segmentes betrifft, so glaube ich, dafs sie schon durch diese Bezeichnung sehr gut charakterisirt ist. Seine Begränzung ist ein Bogen, der einem gröfsten Kreise wohl ziemlich nahe kommen mag. Die beiden Theile jedoch, an welchen dieser Bogen den Horizont berühren sollte, sind meist so aufserordentlich

1) *Traité de l'aurore boréale ed.* 2 *p.* 79 (nach Kämtz).

2) Bergmann Beschreibung der Erdkugel. Greifswald 1791 Bd. II, S. 61 ff. Doch giebt er an, dafs der Bogen *zuweilen* noch am Scheitelpunkt sichtbar sey.

3) Morse, *Sillimanns Journ. of. Sc. Vol. XXXVIII, p.* 389. Pogg. Ann. Ergänzungsbd. I. S. 524.

verwaschen, daſs ich mir hierüber kein Urtheil zutraue, ob sie um 180° von einander abstehen, oder, was ich eher für richtig halten möchte, um weniger.

Die Gränze des dunklen Segmentes läſst sich am besten in der Nähe seines höchsten Punktes bestimmen, und auch da nur scharf, nachdem es sich bereits um einen bis zwei Grade über den Horizont erhoben hat, bis einige Zeit bevor es vollständig verschwindet. Dicht am Horizont beobachtet man nämlich meistens eine graue Schicht, die Nebel, Rauch usw. ihren Ursprung verdanken mag, und sehr leicht zu Täuschungen Anlaſs giebt, so daſs man oft schon ziemlich lange vor Sonnenuntergang das dunkle Segment zu erblicken glaubt, was doch ganz unmöglich ist. Unter den günstigsten Umständen dürfte sich die Gränze des Segments wohl bis auf 10 oder 6 Bogenminuten ja vielleicht noch genauer bestimmen lassen. Ueber das Gesetz seines Fortschreitens soll im §. 9 gesprochen werden.

§. 2. Während man diese Beobachtungen am Osthimmel machen kann, zeigt der westliche die folgenden Erscheinungen:

Der helle weiſsliche Schein, von welchem schon oben die Rede war, erstreckt sich vor Sonnenuntergang in der Nachbarschaft des Verticals der Sonne hoch hinauf. Diese Ausdehnung nach der Höhe ist mir einige Male besonders aufgefallen, während die Sonne etwa noch 4° über dem Horizonte war, auch schien es mir als habe der Schein um diese Zeit einen leichten Stich ins Purpurne. Bei Beobachtungen, welche man hierüber anstellen will, muſs man selbstverständlich das Auge durch einen Schirm vor dem directen Sonnenlichte schützen.

Wenn nun die Sonne sich dem Horizonte nähert, so nimmt der ganze westliche Himmel vom Horizonte bis zu einer Höhe, welche je nach der Beschaffenheit der Atmosphäre zwischen 8° bis 12° schwankt, eine immer entschiedenere gelbe Färbung an, welche dicht am Horizonte oft ins Rothe, ja sogar ins Braunrothe übergeht. Dabei bleibt über der Sonne eine helle, auſserordentlich transpa-

rente Stelle von verticaler aber verhältnifsmäfsig grofser horizontaler Ausdehnung übrig, welche die Gränze zwischen dem gelben Theile und dem freilich noch immer ziemlich hoch hinauf leuchtenden blauen Himmel bildet. Wenn die Sonne wirklich untergegangen ist, wird das Gelbe immer intensiver, geht oft ins Orange über, während die besagte transparente Stelle im horizontalen Sinne wächst, und allmählich in eine helle Zone übergeht, welche Brandes den *Dämmerungsschein* [1]) nannte. Der darüber befindliche Theil des Himmels wird rasch dunkler. Da die gelbe Wand des Abendhimmels später auch die Gestalt eines Segmentes annimmt, und die Function, welche das Sinken dieses Segmentes darstellt, einfach die Fortsetzung jener für den Dämmerungsschein geltenden ist, so will ich diesen gelben Theil das *erste helle Segment* nennen, und seine Gränze den *ersten westlichen Dämmerungsbogen.*

§. 3. Während die eben beschriebenen Erscheinungen am unteren Theile des Westhimmels vor sich gehen, machen sich in einer gröfseren Höhe etwa 25° über dem Horizonte purpurne Töne geltend. Auf dem bereits erheblich dunkler gewordenen Himmel tritt zuerst ein heller Fleck in der angegebenen Höhe auf, der rasch eine entschiedene purpurne Färbung annimmt. Diese Farbe kommt jener am nächsten, welche man durch Uebereinanderlagerung der Enden zweier Spectren erhalten kann, man könnte sie auch rosenfarb nennen, manchmal hat sie einen Stich ins Rothe. Diese helle Stelle erweitert sich aufserordentlich rasch, und hat manchesmal die Gestalt eines Kreises, der unter beständigem Wachsen seines Radius förmlich hinter das gelbe Segment hinabzurutschen scheint. Wenn die letzten purpurnen Töne am Osthimmel verschwinden, kann man diese Erscheinung, welche ich das *erste Purpurlicht* nennen will,

1) Gehlers phys. Wörterb. neue Ausgabe Bd. II S. 271. Die Beschreibung des »Dämmerungsscheines« ist jedoch a. a. O. so unklar, dafs ebenso gut das Purpurlicht darunter verstanden seyn könnte; hier soll dem Worte die eben entwickelte Bedeutung beigelegt werden, da es dafür passend scheint.

jedenfalls deutlich wahrnehmen. Bei weiterem Sinken der Sonne nimmt sie sehr an Intensität zu, und erreicht ein Maximum, bei einer Tiefe der Sonne, welche ich nach meinen Beobachtungen je nach der Beschaffenheit der Atmosphäre zwischen 3°,40 und 4°,50 schwankend fand [1]). Um diese Zeit erscheinen Gebäude, welche eine Mauer gegen Westen kehren, und welche dicht nach Sonnenuntergang sich bereits ganz fahl gezeigt haben, ohne irgend eine Abwechselung zwischen Schatten und Licht, wieder ziemlich lebhaft mit einem rosenfarbenen oder hellfleischrothen Tone übergossen. Das Analogon des Nachglühens der Gebirge. (S. §. 6). Ziemlich scharfe Schatten machen sich wieder bemerkbar, und man ist im Stande, Details an den Gebäuden zu erkennen, welche sich gleich nach Sonnenuntergang dem Blicke vollkommen entzogen hatten. Diese Beleuchtung reicht hin, um selbst mitten in der Stadt in engen Gassen, wo man nichts vom Westhimmel erblicken kann, das Auftreten des Purpurlichtes auf das Entschiedenste zu constatiren. Das Purpurlicht ist der einzige Grund dieser zweiten Beleuchtungen und nicht etwa Contraste, wie Necker zur Erklärung des Nachglühens annimmt; denn es genügt, um sie wahrzunehmen, wenn z. B. eine günstig gelegene Wand dem Blicke zugänglich ist, ohne dafs gleichzeitig auch nur ein Stückchen Himmel sichtbar seyn mufs. Alle Personen, welche ich darauf aufmerksam machte, waren im höchsten Grade erstaunt, diese Erscheinung nicht schon früher beachtet zu haben.

Während das Zustandekommen des Purpurlichtes sehr schwer mit Genauigkeit beobachtet werden kann, und überdiefs an verschiedenen Tagen in sehr verschiedener Weise vor sich geht, so wird der Verlauf desselben von dem Zeitpunkte an, wo es sich seinem Intensitätsmaximum nähert, ein ziemlich regelmäfsiger. Es hat alsdann bei reinem Himmel nahezu die Gestalt eines Kreises, dessen Centrum ein

1) Der Kürze halber werde ich mich in der Folge häufig des Ausdruckes »Tiefe der Sonne« bedienen, anstatt des strengeren »negative Sonnenhöhe«.

wenig über dem gelben Segmente liegt, während der untere Theil desselben von letzterem verdeckt scheint, etwa wie Fig. 12 Taf. I es darstellt, in welcher *h* den Horizont *s* die Gränze des hellen Segments und *p* die in der Natur freilich aufserordentlich verwaschene des Purpurlichtes bedeutet. Zu beiden Seiten des Purpurlichtes sieht man über dem hellen Segmente zwei lichtblaugrüne Stellen bei *a* [1]). Dieser regelmäfsig vorhandene Stich ins Grüne hat seinen Grund nicht in Contrastwirkungen, wovon man sich durch Abblenden überzeugen kann, noch mehr aber durch eine später zu beschreibende Eigenthümlichkeit derselben. Das Centrum des Purpurlichtes tritt nun rasch nach abwärts, während sein Radius fortwährend wächst, so dafs es bald die Gestalt eines Halbkreises annimmt, dessen Centrum auf der Gränze des hellen Segmentes liegt, und endlich in eine schmale und trübe Zone von sehr geringer Höhe aber bedeutender linearer Ausdehnung übergeht. Durch diese Zone wird alsdann das helle Segment scharf begränzt, so dafs von jetzt an eigentlich es erst seinen Namen mit Recht führt. Diese Gränze ist der erste westliche Dämmerungsbogen.

Um die Zeit, wo das erste Purpurlicht sich zu jener schmalen Zone zusammenzicht, um bald darauf ganz zu verschwinden, erfolgt jene auffallend rasche Abnahme der allgemeinen Tageshelle, mit deren Eintritt man die *bürgerliche Dämmerung* beendigt ansieht. Die Sonnentiefe ist alsdann nahezu 6°.

Untersuchungen über die Polarisation des Purpurlichts ergaben, dafs es auffallend schwach polarisirt ist, während sich ringsherum die Polarisation des Himmelslichtes auf's Deutlichste kund gab. Der von Babinet [2]) entdeckte neutrale Punkt liegt Anfangs innerhalb desselben, während es sich später durch sein rasches Sinken von demselben zurückzieht.

Manchesmal zeigen sich lange nach der Sonne zusam-

1) Vergl. die Stelle, welche Forbes a. a. O S. 56 aus einer Schrift von Thom. Melville mittheilt.

2) *Compt. rend. T. XI, p.* 618. Pogg. Ann. Bd. 51, S. 562.

menlaufende dunkelblaue auch grünliche Streifen in demselben. Dafs diese Streifen, deren schon Howard erwähnt wirklich, wie er vermuthet, Schattenstreifen von Wolken sind, welche sich unter oder nahe am Horizonte befinden, erhellet am Besten daraus, dafs man öfter Gelegenheit hat, die Wolken, denen sie ihr Entstehen verdanken, nebst den von ihnen herrührenden Schatten zu sehen. An ganz wolkenlosen Tagen, wo sie übrigens immer erst sehr spät auftreten, mögen sie ihren Grund wohl in terrestrischen Gegenständen haben. Diese Streifen sind deswegen interessant, weil man, sobald sie vorhanden sind, durch Contrast bemerkt, dafs die purpurnen Töne sich weiter hinauf erstrecken, als sie sonst erscheinen würden. Wenn diese Streifen, wie diefs meistens der Fall ist, erst auftreten nachdem das Purpurlicht weit nach abwärts getreten ist, so sieht man es plötzlich wieder an Theilen des Himmels, von welchen man es längst zurückgewichen wähnte. Ebenso zeigt sich in solchen Fällen, dafs das Purpurlicht wirklich hinter dem gelben hellen Segmente noch vorhanden ist, mit anderen Worten, dafs es höheren Theilen der Atmosphäre sein Zustandekommen verdankt als das helle Segment. Die Gränze des letzteren ist unter diesen Bedingungen kaum erkennbar. Wenn das Purpurlicht schon vollständig verschwunden ist, so bleiben doch die beiden hellblaugrünen keilförmigen Stellen, von denen oben die Rede war, noch lange sichtbar, wohl der sprechendste Beweis, dafs man es hier nicht mit einer subjectiven Täuschung zu thun hat. Diese Streifen bilden den Hauptgegenstand der schon öfter citirten Abhandlung von Necker.

Dieser Gelehrte ist auch, meines Wissens der Einzige, der das Purpurlicht unter dem Namen der »*vapeurs rouges*« als eine regelmäfsig in der Dämmerung auftretende Erscheinung erkannt hat. Seine Beschreibung weicht jedoch mehrfach von der meinigen ab, was wahrscheinlich in dem Umstande seinen Grund hat, dafs er bei seinen Beobachtungen keinen so freien Horizont hatte, wie er mir hier zu Gebote stand, wodurch ihm der *wesentliche* Unterschied

zwischen dem hellen Segmente und dem Purpurlichte entging. Der Dämmerungsschein bildet die unverkennbarste Gränze zwischen der total anderen Färbung des hellen Segmentes und dem zarten Tone des Purpurlichtes. Aufser der genannten Abhandlung findet man zwar auch sonst noch häufig nebenher bemerkt, dafs purpurne Töne am Abendhimmel zu sehen seyen, so z. B. bei Wolf a. a. O. oder sogar eine Beschreibung der Erscheinung bei G. Forster [1]), aber ohne dafs ein gesetzmäfsiges Vorkommen derselben auch nur angedeutet wäre. Vielleicht beziehen sich auch die Worte Kepler's [2]): »*aurora circulari forma enititur*« auf das morgendliche Purpurlicht.

Sobald das Purpurlicht verschwunden ist, läfst sich, wenn keine Schattenstreifen vorhanden sind, die Höhe des hellen Segmentes mit ziemlicher Schärfe vielleicht auf 10 bis 15 Bogenminuten genau bestimmen. Nach meinen Messungen hält das Sinken des Segmentes mit dem der Sonne ziemlich gleichen Schritt, so dafs, wenn $-\omega$ die Höhe der Sonne, mithin ω ihre Tiefe unter dem Horizonte ist, ϑ hingegen die Höhe des Scheitels des hellen Segmentes über dem Horizont

$$\omega + \vartheta = \gamma$$

ist, wo γ eine Constante, welche an verschiedenen Tagen Werthe hat, die nach meinen Beobachtungen zwischen 8° und 12° schwanken. Diese empirische Formel läfst sich auch auf den ersten Theil der Dämmerung ausdehnen, wo nur der Dämmerungsschein eine, freilich schwer bestimmbare, Gränze des hellen Segmentes bildet.

§. 4. Blickt man nun wieder auf den Osthimmel zurück, so wird man ihn im Allgemeinen wieder ein klein wenig gefärbt, oder wenigstens beleuchtet finden, und auch

1) *Researches about Atmospheric Phaenomena* 2ᵈ *ed. Lond.* 1815 *p.* 89. Die Stelle lautet: *There is sometimes frequently a deep golden orange close to the horizon, a crimson blush above it fading into purple and the dark blue, about it on each side whitish transparent appearance, or a lively greenish blue, or perhaps the true light prismatic blue.*

2) Kepler *Epit. Astron. Frankfourt* 1635 *p.* 75.

wohl Spuren eines *zweiten dunklen Segmentes* entdecken, welches sich ungefähr um die Zeit vom Horizonte erhebt, wo das Purpurlicht vollständig verschwindet, oder wo es sich zu der beschriebenen trüben Schicht zusammengezogen hat. Diese zweite Färbung ist oft kaum hinreichend um ihr Vorhandenseyn mit Sicherheit constatiren zu können, niemals aber war sie bei meinen Beobachtungen intensiv genug, um eine Messung über die Höhe des zweiten dunklen Segmentes mit einiger Genauigkeit ausführen zu können. Wolken, welche ich in dieser zweiten Beleuchtung des Osthimmels beobachtete, schienen mir mehr allmählich abzuklingen, als eigentlich von einer Schattengränze ereilt zu werden. In einer etwas bedeutenderen Höhe über dem Horizonte verschwindet das zweite dunkle Segment wieder, ebenso wie früher das erste.

Am Westhimmel aber bereitet sich nun eine Wiederholung der schon einmal beobachteten Erscheinungen vor. Während nämlich der erste Dämmerungsbogen nach dem angeführten Gesetze abwärts steigt, entwickelt sich in einer Höhe, welche nur um Weniges geringer ist, als die, in welcher der erste Dämmerungsschein sichtbar war, allmählich ein zweites Phänomen derselben Art, nur weniger glänzend. Der erste Dämmerungsbogen verliert allgemach seine trübpurpurne Begränzung, ohne jedoch deshalb an Schärfe abzunehmen, und über ihm zeigt sich eine etwas trüb-grünlichgelbe Schicht, aus welcher sich gegen oben eine hellere Zone, der *zweite Dämmerungsschein*, oder der *zweite westliche Dämmerungsbogen*, die *Gränze* des *zweiten hellen Segments* abhebt. Ich habe mehre Male aufs Deutlichste beide Bogen über einander gesehen.

Ueber diesem entwickelt sich unter günstigen Umständen ein *zweites Purpurlicht*, vielleicht in etwas geringerer Höhe als das erste, aber mit ganz ähnlichem Verlaufe, nur mit einer etwas mehr ins Gelbrothe fallenden Farbe. Dieses zweite Purpurlicht habe ich einige Male sehr intensiv gesehen, so z. B. am 18. November stärker, als häufig das

erste, mehre Male ziemlich entschieden, an den meisten Tagen aber gar nicht.

Die Zeit des Intensitätsmaximums kann wegen der viel geringeren Präcision, mit welcher diese Erscheinung auftritt, nur sehr mangelhaft bestimmt werden, doch ergab sich in den vier Fällen, wo eine solche Bestimmung gemacht wurde, ein sehr merkwürdiges Resultat. Es fand sich nämlich die Tiefe der Sonne zur Zeit des Maximums des zweiten Purpurlichtes jedesmal nahezu 2,2mal so grofs als jene welche dem Maximum des ersten entsprach, obwohl die letztere an den vier Tagen sehr verschiedene Werthe hatte. (Vergl. §. 11).

Endlich verschwindet auch das zweite Purpurlicht, indem es analog dem ersten hinter das zweite helle Segment hinabtritt, welches nunmehr der einzige noch beleuchtete Theil des Himmels ist, und dessen Verschwinden das Ende der astronomischen Dämmerung bezeichnet. Die Höhe dieses zweiten westlichen Dämmerungsbogens ist es, welche Lambert in seiner Messungsreihe vom 19. November 1759 bestimmt hat [1]). Diese Thatsache ist durch meine Beobachtungen aufser allem Zweifel gesetzt, obwohl es mir selbst wegen Mangel eines passenden Locales nicht möglich war, eigentliche Messungsreihen über die späteren Theile der Dämmerung auszuführen.

Erst bei meinen späteren Beobachtungsreihen, (bei welchen ich kein zweites Purpurlicht sah) wurde ich darauf aufmerksam, dafs von dem Zeitpunkte an, wo die Sonne etwa 7° unter dem Horizonte steht, der Theil des Himmels, welcher überhaupt noch Licht von der Sonne erhält, von dem östlichen bereits vollkommen nächtlichen ziemlich gut geschieden ist. Dieser letztere ist wahrscheinlich die Fortsetzung desselben ersten dunklen Segmentes, welches sich früher unseren Blicken entzogen hatte, und nun nachdem es das Zenith bereits um etwa 30° überschritten hat, wieder zum Vorschein kommt. Es umspannt schon um diese Zeit mehr als die Hälfte des Horizontes, und senkt sich

1) J. H. Lambert, *Photometria Aug. Vind.* 1760 *p.* 448.

rasch wie ein schwarzer Schleier herab, bis es sich mit dem zweiten westlichen Dämmerungsbogen vermischt, der jedoch hierum unbekümmert seinen Weg nach abwärts verfolgt. Wenn man die Entstehung des ersten und zweiten hellen Segments beobachtet, so sieht man, wie grundfalsch es ist, irgend eines derselben, wie man bisher that, durch das dunkle Segment begränzt anzunehmen. Diefs wird später noch klarer vor Augen treten, wenn wir die Eintheilung in erste und zweite Dämmerung und das Ineinandergreifen beider untersuchen werden. (Vergl. §. 11). Ich glaube, dafs es dieses rasch um sich greifende erste dunkle Segment ist, welches den dunklen Grund bildet, auf dem sich das zweite Purpurlicht so eigenthümlich abhebt. Spätere Beobachtungen müssen diefs entscheiden.

§. 5. Das hier entworfene Bild vom Dämmerungsvorgange ist als das Resultat eines Gesammteindruckes zu betrachten, wie er sich mir aus vielen Beobachtungen eingeprägt hat, denn nur selten zeigen sich sämmtliche Erscheinungen an einem und demselben Tage so vollständig ausgebildet, wie hier beschrieben.

Insbesondere ist die Intensität, mit welcher die Phänomene auftreten, eine aufserordentlich verschiedene; denn während an einem Tage das erste Purpurlicht nur als ein äufserst zarter Ton bemerkbar ist, wobei auch seine Farbe manchmal sehr unentschieden ist, und nur durch einen Stich ins Carmoisinrothe oder Purpurne von der des hellen Segmentes verschieden, zeigt sich an einem anderen Tage sogar das zweite noch mit grofsem Feuer. Das eine jedoch steht fest, so bald die Purpurfarbe am östlichen Himmel, also die Gegendämmerung intensiv ist, und sich hoch hinauf erstreckt, so wird auch das erste Purpurlicht sehr lebhaft seyn, und aus der Intensität des Letzteren kann man wiederum mit ziemlicher Sicherheit die des zweiten vorhersagen.

Am Schönsten habe ich sämmtliche Erscheinungen während der Monate October und November beobachtet, und es dürfte jedem, der sich in unseren Gegenden mit diesen

Untersuchungen beschäftigen will, zu rathen seyn in den genannten Monaten zu beginnen, weil um diese Jahreszeit die Phänomene in ihrer gröfsten Reinheit und mit der gröfsten Präcision auftreten. Auch die beiden Monate, welche den besagten vorangingen, ebenso wie die beiden nachfolgenden boten mir schöne Abenddämmerungen. So war z. B. an einigen sehr kalten Tagen im Januar trotz einer ziemlich nebligen Atmosphäre das Purpurlicht mit ganz ungewöhnlicher Ausdehnung, jedoch mit etwas röthlicherer Färbung, als sonst, zu sehen. Seit Februar aber, und besonders seit April habe ich keine einigermafsen glänzende Abenddämmerung gesehen. So konnte z. B. seit dem 31. Januar nicht ein einziges Mal ein zweites Purpurlicht beobachtet werden. Welche meteorologischen Elemente es sind, von denen diese Dinge abhängen, darüber wage ich nichts auszusagen, da die Zahl meiner Beobachtungen doch nicht hinreicht um derartige Schlüsse darauf zu bauen, nur auf das Eine erlaube ich mir hinzudeuten, dafs die Periode der relativen Feuchtigkeit hinsichtlich ihres Maximums und Minimums ungefähr mit jener zusammenzufallen scheint, welche sich in der Intensität der Farbenerscheinungen am Abendhimmel während der Zeit meiner Beobachtungen merkbar machte. In dem Umstande, dafs es mir nicht gelang einen solchen Zusammenhang zwischen dem Stande der Sonne im Augenblicke des Intensitätsmaximums des ersten Purpurlichtes, und den meteorologischen Daten zu entdecken, liegt auch der Grund, weshalb ich es unterlasse, eine Zusammenstellung der vielen auf dieses Maximum bezüglichen Bestimmungen zu geben.

Aufserordentlich grofse Unterschiede kann man an verschiedenen Tagen hinsichtlich der Art und Weise beobachten, wie sich das Purpurlicht gestaltet, mithin ist auch jener Theil der Beschreibung, welcher sich auf die Erscheinungen am Westhimmel vor dem Intensitätsmaximum des Purpurlichtes bezieht, der unsicherste.

Hier mögen auch noch ein paar Beobachtungen Platz finden, welche an nicht ganz reinen Tagen angestellt wur-

den, und einen interessanten Aufschlufs über die Höhe jener Theile der Atmosphäre geben, an welchen dieser Schein entsteht. Einmal nämlich (am 23. October) beobachtete ich sowohl die Gestalt als den ganzen Verlauf des Purpurlichtes aufs Deutlichste durch Schäfchenwolken hindurch, mit denen der ganze Himmel mit Ausnahme des untersten Theiles im Westen bedeckt war. Ein andermal (am 15. November) bemerkte ich, als ich mich an dem sehr trüben und nebligen Tage, es war nämlich der ganze Himmel von einer sehr tiefen und wenig durchsichtigen Wolkenschicht umzogen, gegen Abend im Freien befand, auf einmal wieder eine auffallende Zunahme der Helligkeit, und eine eigenthümliche Beleuchtung der Gegenstände durch sehr diffuses Licht; ein Blick auf meine Uhr überzeugte mich, dafs diese Erscheinung um jene Zeit eintrat, um welche man an einem hellen Tage das erste Purpurlicht zu erwarten gehabt hätte. Diese beiden Thatsachen lehren unzweifelhaft, dafs das Purpurlicht seinen Sitz wenigstens theilweise in sehr hohen Regionen haben mufs.

§. 6. Zum Schlusse unseres beschreibenden Theiles, müssen wir noch in Kürze der Erscheinungen gedenken, von denen die Dämmerung in den Alpen begleitet ist.

Die Erscheinungen des Alpenglühens, welches man besonders gut an weifsen Kalkfelsen oder an schneebedeckten Bergen studiren kann, findet man recht gut in den öfter citirten Abhandlungen von Necker und von Wolf beschrieben. Sie bestehen ungefähr in Folgendem: bei einer Höhe der Sonne von etwa 2° fangen die Berge an lebhaft roth zu werden, was sich gegen Sonnenuntergang in einer Weise steigert, die man nicht besser als eben durch das Wort »*Glühen*« bezeichnen kann. Sowie nun die Sonne mehr und mehr hinabsinkt, steigt der Schatten von unten an den Bergen empor, und entzieht bald auch den höchsten Gipfeln das Licht, so dafs sie nun alle fast farblos grau und kalt dastehen. Doch schon nach wenigen Minuten fangen sie wieder an etwas heller zu werden, und zwar zuerst schwach gelblich weifs, bis sie allmählich in einen

oft ziemlich lebhaften fleischrothen Ton übergehen. Dieses Phänomen, das sogenannte *Nachglühen*, tritt immer gleichzeitig mit dem ersten Purpurlicht auf, *und ist nur durch dasselbe hervorgebracht*. Obwohl wieder Schatten und Licht aufs Entschiedenste an den Bergen auftreten, so sind doch alle Schatten schlecht begränzt, wie sich bei der grofsen Fläche, welche jetzt als Lichtquelle dient, erwarten läfst, diese grofse Menge diffusen Lichtes giebt der Beleuchtung etwas Ungewöhnliches, Magisches, wodurch sie die Phantasie des Beschauers so eigenthümlich anregt. Das Verschwinden dieser Beleuchtung geschieht nicht sowohl durch das Emporsteigen von Schatten, wie das erste Mal, sondern vielmehr durch ein allmähliches Abklingen der Farben. Das Fleischroth geht zuerst in einen heller dann immer dunkler aschfarbenen Ton über, bis endlich die Nacht hereinbricht, und allem Farbenspiele ein Ende macht. Ich erinnere mich jedoch, manchesmal auch noch ein zweites freilich sehr schwaches, doch immerhin unverkennbares Nachglühen beobachtet zu haben, welches dem zweiten Purpurlichte entspricht.

Im Chamounithale sind besondere aufserordentlich bezeichnende Namen für diese Erscheinungen üblich, wie man aus dem Werke der Gebrüder Schlagintweit ersieht [1]). Man unterscheidet nämlich daselbst am Montblanc die »*coloration brillante*«, welche noch von den letzten directen Sonnenstrahlen herrührt, darauf die »*teinte cadavèreuse*« dann »*la resurrection du Montblanc*«, nämlich das Nachglühen, und endlich »*l'extinction*«.

Die Angabe der genannten Forscher, dafs sie niemals des Morgens ein Analogon des Nachglühens beobachtet hätten, ist mir geradezu unverständlich, da ich [2]), obwohl ich mich nicht gerade zu häufig vor Sonnenaufgang im Freien befunden habe, doch an jedem hellen Morgen, wo diefs der Fall war, zu der entsprechenden Zeit die Berge mit rosenfarbenem, aufserordentlich diffusem Lichte über-

1) A. a. O. S. 475.

2) Auch Necker a. a. O. S. 135.

gossen fand [1]). Die rosa und purpurnen Töne sind des Morgens vorherrschend, während die feurigeren Tinten, das Orange und das Rothe, wie man es des Abends beobachtet, weit sparsamer vertreten sind, und gewifs mit vollem Rechte als Vorboten schlechten Wetters betrachtet werden.

§. 7. Schon bei der Beschreibung wurde erwähnt, dafs einige der Erscheinungen sich messend verfolgen lassen; dieser Paragraph hat den Zweck die Wege zu besprechen, welche man zu dem Ende einzuschlagen hat.

Obwohl man bei Messungen auf diesem Gebiete keinen hohen Grad von Genauigkeit zu erwarten hat, so müssen die Ergebnisse derselben doch immer als ein sehr schätzbares Material für theoretische Untersuchungen betrachtet werden. Die Hauptschwierigkeit, mit welcher man zu kämpfen hat, liegt in den Täuschungen, welchen man durch Ermüdung des Auges, durch Contrastwirkungen und Nachbilder ausgesetzt ist. Zur Vermeidung dieser schädlichen Einflüsse habe ich vor jeder Messung meine Augen etwas ausruhen lassen, und dann mein Instrument so rasch als möglich auf jene Gränze eingestellt, welche ich auf den ersten Blick als die richtige erkannt hatte. Vor Allem vermied ich es, den Blick länger als durchaus nöthig war auf den blendenden Westhimmel zu richten.

Was das Instrument betrifft, welches zu solchen Messungen dienen soll, so ist es sehr wichtig, dafs der Beobachter in der Lage sey, während er auf den höchsten Punkt des zu beobachtenden Bogens einstellt, einen grofsen Theil des übrigen Himmels zu überblicken, wodurch man allein sichere Anhaltspunkte erhält, da man an den Punkten, wo die dunklen Theile des Instruments mit dem hellen Himmel so stark contrastiren, den gröfsten Täuschungen unterworfen ist. Fernröhre sind deshalb ganz unanwendbar, auch

1) In Partenkirchen im baierischen Hochlande kann man diese Erscheinung am Zugspitzgebirge aufs Prachtvollste beobachten, während die grofse Wand des Wetterstein für das Nachglühen am Abend aufserordentlich günstig liegt.

Dioptervorrichtungen mit Ringen oder Rahmen, welche Fadenkreuze tragen nicht zu empfehlen. Am Besten fand ich es mich eines Kornes und eines Absehens zu bedienen, wie man es auf den Flinten hat. Auf einer Holzleiste von etwa 1 Fuſs Länge wurde an dem einen Ende eine Stecknadel befestigt, an dem andern ein Stück Blech mit einer kleinen Kerbe, über diese wurde nun hinweg visirt, und für jenen Punkt eingestellt, an welchem der Stecknadelknopf gerade zu verschwinden begann. Ich glaube, daſs diese Vorrichtung den höchsten Grad der Genauigkeit gewährt, den die Natur der Sache nur irgend zuläſst. Es ist klar, daſs man mit Hülfe zweier Ringe, welche Korn und Absehen tragen, und sich auf das Fernrohr eines Theodolithen stecken lassen, einen solchen sofort für die Messungen herrichten kann.

Am allerbesten lassen sich die Dämmerungsbeobachtungen gewiſs auf der See anstellen, ein Sextant, dessen Fernrohr herausgenommen und durch eine passende Visirvorrichtung, sey es vor oder hinter dem halb belegten Spiegel, ersetzt worden ist, könnte dann zur Höhenbestimmung dienen; man hätte nur den im Spiegel gesehenen Meereshorizont neben den direct beobachteten Punkt zu bringen.

Da ich für einen Theodolithen keinen hinreichend festen Standpunkt hatte, so befestigte ich die besagte Leiste nur an einen in halbe Grade getheilten Kreis (Unterabtheilungen wurden geschätzt), den ich gerade in der hiesigen Sammlung vorfand, und bestimmte die verticale Richtung durch ein angehängtes Senkel. Wegen der Mängel, mit welchen die letztere Bestimmung behaftet ist, haben meine Zahlen als relative Messungen mehr Werth, wie als absolute, die Differenzen sind genauer als die absoluten Werthe. Die ersten Messungsreihen, welche nur zur Orientirung dienen sollten, wurden mit einem noch einfacheren Instrumente gemacht, welches in der Hand gehalten werden konnte, und eigentlich nur aus einem Transporteur mit Absehen und Senkel bestand. Die Genauigkeit ging dabei freilich nicht weiter als bis auf einen halben Grad.

Da jedoch gerade einige dieser Messungsreihen durch die Witterung aufserordentlich begünstigt waren, so werden trotzdem in der Folge einige der gewonnenen Zahlen angeführt werden.

Die Messungen wurden auf einer Plattform des hiesigen Universitätsgebäudes ausgeführt.

II.

§. 8. Nachdem wir uns nun mit dem Gang der Erscheinungen im Allgemeinen bekannt gemacht haben, wollen wir untersuchen ob und in wiefern die Theorieen, welche bisher über diesen Gegenstand aufgestellt worden sind, mit den Thatsachen in Einklang stehen. Die Messungsdata, auf welche wir uns bei dieser Gelegenheit berufen müssen, werden zugleich dazu dienen, das oben nur in allgemeinen Zügen entworfene Bild zu vervollständigen und zu präcisiren.

Die bisher üblichen theoretischen Anschauungen über den Dämmerungsvorgang sind dem Wesen nach schon von dem arabischen Astronomen Alhazen [1]) entwickelt worden, später wurden sie von Lambert [2]) und in neuester Zeit von Grunert [3]) weiter ausgebildet. Sie bestehen kurz gefafst in Folgendem:

Sey ANB in Fig. 13 Taf. I ein Stück eines gröfsten Kreises auf der Erdoberfläche, welcher in einer durch die Mittelpunkte der Erde und Sonne und durch den Ort des Beobachters N gehenden Ebene liegt. EDD' sey die Gränze der Atmosphäre. Die Strahlen der Sonne denken wir uns in der Richtung SE ankommend, wobei wir der Einfachheit wegen annehmen wollen, dafs die Bahn eines Lichtstrahls in der Atmosphäre genau eine gerade sey, also die Erde bei A tangirend. Dann wird ein Ort, welcher sich auf der Erdoberfläche zwischen A und B befindet, nur Licht erhalten können, welches wenigstens einmalige Reflexion in

1) Allacen *de crepusculis*, *Basil.* 1572.

2) A. a. O. S. 440 bis 457.

3) Beiträge zur meteorol. Optik, Leipzig 1848 I. Theil S. 194 bis 266.

der Atmosphäre erlitten hat, und man sagt von ihm, sowie von jedem Punkte, welcher innerhalb des schwächer schattirten Raumes liegt, er habe die erste Dämmerung. Alle Punkte hingegen, welche sich innerhalb des stärker schattirten Raumes befinden, können nur Licht erhalten, welches wenigstens zweimal reflectirt wurde, und haben demgemäfs die zweite Dämmerung. Vorausgesetzt, die durch D gehende Gränze zwischen dem Theile der Atmosphäre, welcher noch directes Licht erhält, und demjenigen, dem nur reflectirtes zukommt, sey scharf erkennbar, so würde sie die Form eines Bogens haben müssen, des ersten Dämmerungsbogens, und man könnte aus der Höhe seines Scheitels über dem Horizonte auf die Höhe der der letzten Licht reflectirenden bei D liegenden Theilchen über der Erdoberfläche schliefsen. Diese Betrachtung, welche einen Weg zu zeigen schien, um die Höhe der Atmosphäre zu bestimmen, veranlafste die älteren Astronomen diesem Gegenstande viele Aufmerksamkeit zu schenken. Dafs diese Versuche zu keinem Resultate geführt haben, ist bekannt. Bei D' müfste in analoger Weise der Scheitel eines zweiten Dämmerungsbogen liegen.

Aufserdem unterscheidet man zwischen der bürgerlichen Dämmerung und der astronomischen, deren Ende man beziehungsweise auf eine Tiefe der Sonne unter dem Horizonte von 6 bis $6\frac{1}{2}$ und 18 Grade verlegt. Das Genauere findet man in Kämtz sehr gut zusammengestellt.

§. 9. Man bemerkt auf den ersten Blick, dafs die eben skizzirte Theorie nicht genügt, um die Erscheinungen zu erklären. Denn für's Erste wäre ihr zufolge zu erwarten, dafs man den Verlauf des *dunklen Segmentes* über den ganzen Himmel sollte verfolgen können, und zwar nach einem Gesetze, welches mit den Resultaten der Messungen im schreiendsten Widerspruche steht. Es ist nämlich vorausgesetzt, dafs die letzten Licht reflectirenden Theilchen stets in der gleichen Höhe über der Erdoberfläche liegen sollen, aus dieser Voraussetzung hat auch Lambert, freilich unter der Zugrundelegung noch einer weiteren Annahme,

über die Höhe dieser Theilchen eine Tabelle über das Fortschreiten des Segmentes berechnet. Meines Wissens sind über den Gang des dunklen Segmentes, so lange es sich noch auf der der Sonne gegenüberliegenden Seite des Himmels befindet, niemals Messungen angestellt worden, und was Lambert am Westhimmel als Gränze desselben betrachtet, hatte, wie wir sahen, eine ganz andere Bedeutung. Die Messungen, welche ich darüber gemacht habe, stimmen mit der von Lambert berechneten Tabelle [1]) durchaus nicht, und ergeben ein ganz anderes Gesetz, als man nach der alten Anschauung zu erwarten hat.

Um diefs zu beweisen, lasse ich hier drei Messungsreihen folgen. Dabei ist für jede Beobachtung berechnet, in welcher Höhe E (Fig. 14 Taf. I) über der Erdoberfläche sich der Punkt h, nämlich der Durchschnittspunkt der die Erde tangirenden Strahlen, mit der nach dem Scheitel des dunklen Segmentes gezogenen Geraden befindet. Diese Höhe ist die gröfste Erhebung jener Theilchen, welche uns noch Licht von jenen Strahlen durch einmalige Reflexion zusenden können, sie mufste nach der älteren Anschauung eine Constante seyn. Den Werth von E erhält man, mit einer vollkommen hinreichenden Genauigkeit aus der Formel

$$E = 2R\left[\frac{\sin\left(\eta - \frac{\omega'}{2}\right)\sin\frac{\omega'}{2}}{\sin(\eta - \omega')}\right]^2 \qquad (\alpha),$$

in welcher R den Radius der Erde, also in runder Zahl 860 Meilen, η die Höhe des dunklen Segments über dem Horizont bezeichnet und $\omega' = \omega - 33'$ ist, wenn man unter ω die Tiefe der Sonne unter dem Horizont versteht.

Auf die astronomische Refraction ist in dieser Formel nur theilweise Rücksicht genommen, es wurde nämlich nur jene Ablenkung in Rechnung gebracht, welche die Sonnenstrahlen auf ihrem Wege von der Sonne bis zu dem Punkte A, wo sie die Erde tangiren, erfahren, was einfach dadurch geschehen konnte, dafs ω' anstatt ω eingeführt wurde, während der übrige Verlauf der Strahlen, bei welchem die Be-

1) A. a. O. S. 454.

rücksichtigung der Refraction grofse Weitläufigkeit der Rechnung verursacht hätte, geradlinig angenommen ist. Die Höhe des Punktes h wird hierdurch etwas gröfser ausfallen, als die des Punktes h_0, für welchen man eigentlich rechnen sollte, wie man aus einer zu dem Zwecke entworfenen Figur sofort sieht. Der Fehler wird mit wachsendem η immer unbedeutender.

Auch abgesehen hiervon ist die Formel (α) immernoch nur eine Näherungsformel, welche sich aus dem Ausdrucke

$$Ch^2 = R^2 + Ah^2,$$

in welchem C den in Fig. 14 Taf. I nicht mehr angegebenen Erdmittelpunkt bezeichnet, ergiebt, indem man beachtet, dafs für kleine Werthe von Ah

$$Ch = R + E = R\left[1 + \frac{1}{2}\frac{Ah^2}{R^2}\right]$$

ist, diefs ist aber bei der Anwendung, welche wir von der Formel zu machen haben, wirklich der Fall. Ah endlich findet man mit Hülfe der allereinfachsten Betrachtungen und somit die Formel (α).

Genauere Rechnungsmethoden anzuwenden wäre für jetzt, wo es sich noch nicht um die Prüfung einer einigermafsen genügenden Theorie handelt, eine rein verlorene Mühe, übrigens ist die in der Natur der Sache begründete Unsicherheit der Messungen so grofs, dafs schon durch sie für die Genauigkeit der Rechnung eine rasch zu erreichende Gränze vorgeschrieben ist.

Die Ergebnisse der Messungen sind:

Tag	Zeit	ω = Tiefe der Sonne	η = Höhe des Segments	E in Meilen
8. Dec. 1863	4h 8m	55′	2°	0,05
	4 11	1° 15	2 30′	0,12
	4 13	1 30	3	0,2
	4 16	1 50	4	0,35
	4 20	2 20	5	0,7
	4 24	2 50	6	1,2
	4 27	3 16	8 (?)	1,4 (?)

Tag	Zeit	$\omega =$ Tiefe der Sonne	$\eta =$ Höhe des Segments	E in Meilen
14. April 1864	$6^h\ 51^m$	$1°\ 7'$	$1°$	0,08
	6 54	1 35	$1\ 50'$	0,7
	6 58	2 15	3	1,1
	7 0 30^s	2 40	4	1,4
	7 2	2 50	4 40	1,7
	7 4	3 10	5 40	2,1
15. April 1864	6 54	1 25	1 30	0,24
	6 57	1 50	2 20	0,65
	6 59 30	2 10	3 40	0,73
	7 1 30	2 30	4 20	1,0
	7 3 30	2 50	5 10	1,4

Die erste dieser Reihen, nämlich die vom 8. December wurde noch mit dem oben erwähnten ganz rohen Instrumentchen gefunden, sie hat also geringeren Werth als die beiden folgenden. Ueberdiefs war der westliche Horizont an diesem Tage bis zu einer Höhe von 1° mit dichtem Nebel umzogen, im Osten waren leichte Schichtwolken (*cirrho-stratus*). Die beiden letzten Messungsreihen wurden an vollkommen reinen, sehr trocknen Tagen angestellt. Am 14. April glaubte ich um $7^h\ 35^m$ die Gränze des dunklen Segmentes am westlichen Himmel in einer Höhe von etwa 50° wieder zu erblicken (Vergl. §. 4) woraus $E = 8$ Meilen folgen würde.

Obgleich diese Angaben nicht genügend sind, um auf sie ein Gesetz für die Bewegung des dunklen Segmentes zu basiren, so geht aus ihnen doch unzweifelhaft hervor, *dafs jede Messung für E einen gröfseren Werth giebt, als die vorangehenden*, eine Thatsache, welche ich durch alle über diesen Punkt angestellten Messungen bestätigt fand. Eine gar so einfache Vorstellung, wie man sie bisher zur Begründung einer Theorie benutzen wollte, erweist sich mithin schon hier als gänzlich unzureichend, und doch ist das dunkle Segment der einzige Punkt, von welchem sie wenigstens qualitativ Rechenschaft zu geben vermag.

Es scheint mir jedoch nicht sehr schwer anzugeben, worin dieser Widerspruch seinen Grund hat: man liefs

nämlich bei dieser Theorie die photometrischen Verhältnisse ganz unberücksichtigt. Man nahm einfach an, dafs die Gränze zwischen dem hellen und dunklen Theile des Himmels durch die Lage der höchsten Theilchen bedingt sey, welche überhaupt noch Licht zu reflectiren vermögen, ohne sich darum zu kümmern, ob nicht etwa die Strecke, welche das Licht durch die absorbirende Atmosphäre von ihnen aus zu durchlaufen hätte, zu grofs sey, oder ob die Anzahl derselben, welche uns in ein und derselben Richtung Licht zusenden, nicht vielleicht zu klein sey, als dafs wir sie erblicken könnten; noch ganz abgesehen davon, dafs man doch keinenfalls annehmen kann, dafs die Licht reflectirenden Partikelchen dasselbe nach allen Seiten hin gleich stark zerstreuen [1]). Eine kurze Betrachtung wird genügen, um zu zeigen, dafs eine solche photometrische Behandlung des Problems, selbst wenn man vor der Hand, wo es sich noch nicht um quantitative Bestimmungen handelt, den letzten Punkt noch ganz bei Seite läfst, eine weit gröfsere Uebereinstimmung mit den Thatsachen verspricht.

Zieht man nämlich von N aus (Fig. 14 Taf. 1) verschiedene Geraden Na, Nb, Nc nach der dem D benachbarten Gegend, so sieht man, dafs die Stücke derselben, welche innerhalb des beleuchteten Theiles der Atmosphäre zu liegen kommen, zuerst mit zunehmendem η (d. i. der Winkel, den die Linien Na usw. mit dem Horizonte des Beobachters bilden), aufserordentlich rasch wachsen, ein Maximum erreichen (in unserer Figur auf Nb) und dann wieder allmählich abnehmen. Wenn man nun bedenkt, dafs die dem D zunächst liegenden Theilchen nur Licht erhalten können, welches einen sehr langen Weg durch die Atmosphäre, und zwar durch die dichtesten Partieen derselben zurückgelegt hat, und dafs, noch abgesehen von der aufserordentlich geringen Dichtigkeit, welche die Luft in jenen höchsten Regionen haben mufs, das Licht, um von ihnen aus zu uns zu kommen,

1) S. die Arbeiten von Clausius in Crelle's Journal Bd. 34 S. 122 und Bd. 36 S. 185; ferner in Pogg. Ann. Bd. 76 S. 161 und Bd. 88 S. 543.

ebenfalls einen sehr langen Weg zurückzulegen hat, so ist zu erwarten, dafs die Gränze des Schattenraumes, d. i. des dunklen Segments, sehr nahe an das Helligkeitsmaximum der Gegendämmerung fallen wird, und dafs sie von da an aufwärts, wegen der beständig abnehmenden Anzahl der Theilchen, welche uns in ein und derselben Richtung Licht zusenden, allmählich abnehmen, und schon in geringen Höhen unmerkbar werden wird.

Um nun zu untersuchen, welchen Verlauf der Erscheinungen man nach dieser Betrachtungsweise zu erwarten hat, haben wir nur nöthig, von einem anderen Punkte N_1, aus, für den die Sonne zunächst untergegangen ist, ähnlich wie oben Gerade $N_1 a_1$, $N_1 b_1$, $N_1 c_1$ nach der Umgebung von D zu ziehen. Es ergiebt sich alsdann, dafs die Stücken dieser Linien, welche aufserhalb des Schattenraumes zu liegen kommen, im Allgemeinen kleiner seyn werden als vorher, ferner, dafs das Ansteigen zum Maximum etwas langsamer erfolgt, und endlich, dafs die Gerade $N_1 b_1$, welcher diefsmal das Maximum angehört, die Gerade AD in einem Punkte h_1 schneiden wird, welcher höher liegt, als der entsprechende Punkt h des vorigen Falles.

Man hat demgemäfs zu erwarten, dafs erstens die Intensität der Gegendämmerung bei fortgesetztem Sinken der Sonne immer mehr abnehmen wird, zweitens, dafs die Begränzung des dunklen Segments immer mangelhafter werden wird, und drittens, dafs der Durchschnittspunkt der nach dem Scheitel dieser Begränzung gezogenen Geraden mit den die Erde tangirenden Strahlen immer höher und höher zu liegen kommen mufs.

Alle diese Sätze werden durch die Erfahrung bestätigt, und deshalb scheint diese Betrachtung, wenn sie auch nur als roher Ueberschlag gelten darf, doch den Weg zu bezeichnen, auf welchem man eine Lösung des Problems zu erwarten hat. So weit ich es übersehen kann wird die Berücksichtigung der fehlenden Punkte, also der mehrfachen Reflexionen, der Eigenthümlichkeiten der Dunstbläschen usw. das Resultat qualitativ nicht ändern, sondern

nur noch prägnanter machen. Für einen gewandten Mathematiker dürfte sich hier ein interessantes Feld der Thätigkeit eröffnen.

§. 10. Die Erscheinungen am Westhimmel, also der Dämmerungsschein oder das *erste helle Segment*, blieben in der bisherigen Theorie ganz unberücksichtigt, mit Ausnahme des zweiten hellen Segments, welches Lambert von dem Punkte an beobachtete, wo das erste dunkle (S. §. 4) dasselbe ereilt hatte. Es wurde schon oben erwähnt, welche Relation sich zwischen der Höhe des ersten hellen Segments und der Tiefe der Sonne unter dem Horizont ergab. Die folgenden Messungsreihen mögen als Belege dienen. Die mit Δ überschriebene Columne enthält die Abweichungen der einzelnen Beobachtungen von dem Mittelwerthe γ, mit welchem sie ja nach dem angegebenen Gesetze zusammenfallen sollen. Die Bedeutung der in der Columne E stehenden Zahlen, soll später erörtert werden.

Tag	Zeit	ω	θ	$\omega + \theta$	γ	Δ	E
18. Nov.	4h 59m	6° 53'	5° 0'	11° 53'		+ 12	
1863	5 2	7 22	4 30	11 52	11° 41	+ 11	
	5 5	7 50	3 50	11 40		− 1	
	5 7	8 9	3 10	11 19		− 22	
29. Nov.	4 44	5 38	5 0	10 38		+ 5	
1863	4 50	6 12	4 30	10 42	10° 33	+ 9	
	4 55	6 48	3 30	10 18		− 15	
14. April	7 7	3 42	*5 10	8 52		− 17	0,9
1864	7 11	4 18	*4 45	9 3		− 6	1,16
	7 17	5 14	4 10	9 24		+ 15	1,58
	7 19	5 33	3 25	8 58		− 11	1,65
	7 22	6 2	3 15	9 17	9° 9	+ 8	1,8
	7 25	6 32	2 50	9 22		+ 13	2,1
	7 30	7 16	2 0	9 16		+ 5	2,38
	7 32	7 33	1 25	8 58		− 11	2,4
15. April	7 16	4 49	3 30	8 19		− 22	
1864	7 21	5 45	2 55	8 40		− 1	
	7 25	6 12	3 0	9 12	8° 41	+ 31	
	7 28	6 40	2 2	8 42		+ 1	
	7 31	7 8	1 35	8 43		+ 2	

Diese Messungsreihen, von denen die beiden ersten noch mit dem ganz rohen Instrumentchen angestellt wurden, zeigen, dafs das genannte Gesetz wenigstens als eine ziemlich gute Näherungsformel zu betrachten ist. Die Abweichungen halten sich meist innerhalb der Gränzen, welche wir schon oben (§. 3) für die Beobachtungsfehler haben kennen lernen. Vielleicht lassen die beiden letzten Reihen, die genaueren, ein kleines Wachsen der Summe $\theta + \omega$ mit der Zeit durchblicken. Lambert's Beobachtungen des zweiten hellen Segments zeigen ein solches jedoch weit stärkeres Wachsen in unzweifelhafter Weise. Die * vor einigen Zahlen bedeuten, dafs man es noch mit dem Dämmerungsschein zu thun hat, dafs sich also noch kein eigentlicher Bogen constituirt hat.

Es mag auffallen, dafs die mittlere Differenz der beobachteten und der berechneten Werthe für die beiden ersten Reihen, welche noch mit viel schlechteren Hülfsmitteln gewonnen wurden, kaum gröfser ist, als für die beiden letzten Reihen. Der Grund ist einfach der, dafs die Hauptschwierigkeit in dem Erkennen scharfer Gränzen zu suchen ist, und dafs diese an den verschiedenen Tagen ganz verschiedene Grade der Präcision besafsen. Die beiden Tage im November waren in dieser Hinsicht aufserordentlich günstig, während am 15. April alle Erscheinungen nur sehr schwach ausgeprägt waren.

Die genannte Formel gestattet eine eigenthümliche geometrische Deutung. Zieht man nämlich von dem Orte des Beobachters N (Fig. 15 Taf. I) eine Gerade nach dem höchsten Punkte des hellen Segments, so schneidet diese die Schattengränze in h. An dieser Stelle befindet sich also das tiefste Lufttheilchen, welches durch Reflexion von directem Sonnenlichte zur Bildung des Scheitels des Segments beitragen kann. Man sieht nun sofort, dafs

$$\angle NhD = \angle HNS + \angle KNh = \theta + \omega = \gamma$$

ist. Da nun dieser Winkel an jedem Tage nahezu ein constanter ist, so findet man die Richtungen $N_1 h_1$, $N_2 h_2$ usw., in welchen Beobachter in den Punkte $N_1 N_2 N_3$ usw.

den Scheitel des Bogens erblicken, indem man zu *Nh* parallele Grade durch diese Punkte zieht. Die Höhe *E*, in welcher sich die Theilchen h, h_1, h_2 usw. befinden, ist demgemäfs für jede folgende Beobachtung — denn ein Beobachter befindet sich ja der Reihe nach an den Punkten NN_1 usw. — eine bedeutendere, als für die vorhergehenden. Da man früher das Analogon des ersten Segmentes, nämlich das zweite, durch eine Schattengränze umschrieben annahm, welche dann eben durch die dem h, h_1 ... entsprechenden Punkte gehen mufste, und da man gerade deshalb auf die Erhebung dieser Punkte über der Erdoberfläche bedeutendes Gewicht legte, so habe ich diese Werthe für die Beobachtungen vom 14. April berechnet, und sie in der Columne *E* beigefügt. Als Einheit ist, wie oben, die geographische Meile zu Grunde gelegt.

Uebrigens darf man das erste helle Segment, und demgemäfs wegen der vollkommenen Analogie auch das zweite, durchaus nicht durch den Erdschatten begränzt denken, da der Dämmerungsschein bereits vor und während des Sonnenunterganges sich zu constituiren beginnt. Wollte man auch erst später diefs thun, also nach dem Verschwinden des Purpurlichtes, wo erst ein eigentliches Segment auftritt, d. h. ein auf dem Horizonte stehender Bogen mit allmählich abnehmender Sehne, so wäre man, wie die Columne *E* und die übrigen Erscheinungen lehren, doch jedenfalls genöthigt, in der Atmosphäre eine zweite von geringerer Höhe aber von anderem Wassergehalte oder anderer Dampfform anzunehmen. Aber abgesehen davon, dafs das einheitliche Gesetz, welches, wenn es auch nur als ein empirisches, als ein genähertes zu betrachten ist, die Bewegung des hellen Segmentes von der Bildung des ersten Dämmerungsscheines bis zum Verschwinden ausdrückt, eine Aenderung der erzeugenden Ursache aufserordentlich unwahrscheinlich macht, so bliebe vor Allem das successive Steigen, welches man für die Höhe jener hypothetischen Dampfatmosphäre annehmen müfste, ganz unerklärlich.

Es scheint mir vielmehr, dafs eine photometrische Be-

handlung des ganzen Problems auch von dieser Erscheinung wird Rechenschaft geben können. Ein einfacher Ueberschlag mag diefs darthun.

Betrachtet man nämlich wieder, wie im vorigen Paragraph, die Menge der leuchtenden Partikelchen, welche wir in einer bestimmten Richtung erblicken, so ist klar, dafs ein Auge, welches von den höheren Theilen des Himmels ausgehend, die westliche Hälfte des Sonnenverticals durchläuft, zuerst auf immer hellere und hellere Stellen stofsen mufs. Dieses Wachsthum wird jedoch bei einer bestimmten Höhe über dem Horizonte eine Gränze erreichen, und in eine Abnahme übergehen müssen, da bekanntermafsen die Absorption des Lichtes in der Atmosphäre bei der Annäherung an den Horizont aufserordentlich rasch wächst, wozu noch der Umstand kommt, dafs auch die Entfernung der nächsten leuchtenden Theilchen für diese Richtungen zunimmt. Hierdurch würde sich also nicht nur das Auftreten eines Helligkeitsmaximums des Dämmerungsscheines erklären lassen, sondern durch das Ueberwiegen der Absorptionswirkungen in den unteren Theilen auch die verschiedene Farbe der durch den Dämmerungsschein getrennten Partieen.

Auch das successive Steigen von E würde mit dieser Anschauungsweise übereinstimmen. Zieht man nämlich von den Punkten N und N_1 aus (Fig. 16 Taf. I) Gerade in verschiedenen den respectiven Horizonten benachbarten Richtungen, so sieht man, dafs, wenn N das Helligkeitsmaximum in der Richtung Nh erblickt, es ganz unwahrscheinlich ist, dafs für N_1 dieses Maximum in die Richtung $N_1 h$ falle, da die letztere dem Horizonte des Punktes N_1 schon so nahe liegt, dafs die Absorptionswirkungen das Uebergewicht haben werden, und mithin wird es in eine Richtung fallen, welche die Gerade AD in einem höher gelegenen Punkte schneidet, ganz im Einklange mit den Beobachtungen. Ob diese Anschauungsweise mit dem aufgestellten Gesetze vereinbar sey, diese Frage mufs einer genaueren Analyse,

welche alle Umstände berücksichtigt, zur Lösung vorbehalten bleiben.

§. 11. Wir haben schliefslich noch von jener Erscheinung zu sprechen, welche für mich den Ausgangspunkt der ganzen Untersuchung bildete, vom »*Purpurlicht*«. Bisher wurde in keiner theoretischen Behandlung der Dämmerung dieses Phänomens gedacht. Das Nachglühen der Alpen versuchten Necker und de la Rive (a. a. O.) zu erklären, und zwar der erstere durch Contrastwirkungen, was nach den oben mitgetheilten Thatsachen ganz unhaltbar ist, der letztere hingegen durch eine totale Reflexion. Aber abgesehen davon, dafs schon Kepler [1]) bemerkte, dafs regelmäfsige Reflexionen ganz andere Erscheinungen hervorrufen müfsten, als die in der Dämmerung beobachteten, hat auch Lubbock [2]) gleich gegen die von de la Rive vorgetragene Ansicht den richtigen Einwand gemacht, dafs man nach dieser Voraussetzung an dem beleuchteten Punkte ein Bild der Sonne erblicken müsse, und zwar mufste das letztere, wie man aus einer einfachen Construction sofort ersieht, dicht am Horizonte erscheinen. Diefs ist nicht der Fall, sondern es geht vielmehr aus allen meinen Beobachtungen unzweifelhaft hervor, dafs das Purpurlicht der einzige Grund des Nachglühens ist. Wenn man will, kann man das Purpurlicht immerhin als ein optisches Bild der Sonne, im weitesten Sinne des Wortes betrachten. Aber jedenfalls entsteht es nicht durch regelmäfsige Reflexionen. Es ist mir bisjetzt noch nicht gelungen eine einigermafsen genügende Erklärung für dieses räthselhafte Phänomen zu finden.

Für jetzt hat das Purpurlicht für ein richtiges Verständnifs des Dämmerungsvorganges besonders deshalb Werth, weil hierdurch eine *erfahrungsmäfsige Grundlage für die Eintheilung in eine erste und zweite Dämmerung* gewonnen

1) A. a. O. S. 75; man vergleiche eine Beschreibung solcher regelmäfsigen Reflexionserscheinungen nach Sonnenuntergang von Christie in *Seventh Rep. of the Brit. Afs. Trans. of sect. p.* 16.

2) *Ib. Trans. of sect. p.* 31.

ist, die übrigens ganz andere Resultate liefert, als die bisherige der Theorie entnommene. Nach der älteren Anschauung mufste nämlich das Ende der ersten Dämmerung mit dem Momente des Untergangs des ersten Dämmerungsbogens zusammenfallen. Diesen Augenblick verlegt Lambert auf eine Tiefe der Sonne von 12°,13. Diese Zahl erhielt er unter Zugrundelegung einer Höhe der Atmosphäre, welche er aus *einer* seiner Beobachtungen berechnet hatte. Bekanntlich liefert nach Brandes und Grunert jede der Lambert'schen Beobachtungen einen anderen Werth für diese Höhe, und man könnte mithin mit demselben Rechte den Schlufs der Dämmerung auf sehr verschiedene andere Zeitpunkte verlegen. Uebrigens ergiebt sich durch Interpolation aus den Lambert'schen Beobachtungen für den Untergang jenes Bogens, den er bei jener Beobachtung, welche er seiner Rechnung zu Grunde legt, als den ersten Dämmerungsbogen betrachtet, eine Tiefe der Sonne von etwa 19°,20, ein schwer zu versöhnender Zwiespalt in den Resultaten! Seine Speculationen aber über das Ende der zweiten Dämmerung gründet er auf die allgemein übliche Annahme, dafs der letzte helle Schein den Horizont erreiche, wenn die Sonne sich 18°,30 unter demselben befinde. Er schlofs daraus, dafs dieser Schein nicht durch den zweiten Dämmerungsbogen begränzt seyn könne, da das Ende der zweiten Dämmerung, wenn es durch den Untergang des zweiten Dämmerungsbogens bedingt wäre, einer Tiefe der Sonne entsprechen müfste, welche gleich wäre der doppelten am Ende der ersten, also gleich 24°,26. Diefs nöthigte ihn zu dem Schlusse, dafs der zweite Dämmerungsbogen wegen Lichtmangel nicht mehr erkennbar sey.

Es liegt durchaus nicht in meiner Absicht ein einzelnes Capitel eines so verdienstvollen Werkes, wie Lambert's Photometria, einer scharfen Kritik zu unterwerfen, aber ich glaubte diese kleine Digression hier nicht unterlassen zu dürfen, da die Lambert'sche Untersuchung über die Dämmerung eine so ungewöhnlich häufige Reproduction erfah-

ren hat, dafs es ernstlich Wunder nehmen mufs, wie ihre mannigfachen Widersprüche fast unbeachtet bleiben konnten.

Wir haben schon in dem beschreibenden Theile gesehen, dafs man den Beginn der zweiten Dämmerung auf jenen Moment zu verlegen habe, in welchem das zweite dunkle Segment sich vom Horizonte erhebt, ohne dafs jedoch damit gesagt seyn soll, dafs dieser Zeitpunkt zugleich das Ende der ersten bezeichne. Dieser Moment läfst sich aber nur sehr schwer mit Schärfe beobachten, und mithin scheint dieses allein naturgemäfse Mittel der Eintheilung doch practisch unanwendbar. Glücklicherweise bieten uns das erste und zweite Purpurlicht wenigstens theilweise einen Ersatz dafür. Obwohl ich nämlich den Zeitpunkt des Intensitätsmaximums nur viermal, und auch da nur mit mäfsiger Genauigkeit beobachten konnte, so ergab sich doch aus diesen Beobachtungen mit einer verhältnifsmäfsig grofsen Uebereinstimmung ein merkwürdiges Resultat. Es zeigte sich nämlich, wie schon oben erwähnt, (§. 4), eine ganz bestimmte Relation zwischen den beiden Stellungen der Sonne, welche dem ersten (I) und zweiten (II) Maximum entsprechen. Ich lasse die Beobachtungen folgen:

Tag	Zeit des Maximums		Tiefe d. Sonne	Verhältnifs
18. Nov. 1863	I	$4^h\ 46^m$	$4^\circ\ 52'$	2,2
	II	5 20	10 44	
29. Nov. 1863	I	4 38	4 47	2,17
	II	5 15	10 25	
8. Dec. 1863	I	4 32	3 58	2,3
	II	5 4	9 10	
31. Jan. 1864	I	5 18	3 59	2,2
	II	5 50	8 46	

Die Columne »Verhältnifs« enthält den Quotienten aus der Tiefe der Sonne, welche dem Maximum des zweiten Purpurlichtes entspricht, und der dem ersten zugehörigen.

Fufsend auf die hier gefundene Relation versuchte ich nun, den Beginn der zweiten Dämmerung durch folgende Betrachtung aus dem Zeitpunkte des Maximums des zwei-

ten Purpurlichts abzuleiten. Der Verlauf der zweiten Dämmerung ist dem der ersten, wenn auch nicht ganz gleich, doch wenigstens sehr ähnlich, man wird sich demnach nicht sehr weit von der Wahrheit entfernen, wenn man annimmt, dafs das Stück, um welches die Sonne sinken mufs, vom Beginn der zweiten Dämmerung bis zum Helligkeitsmaximum des zweiten Purpurlichtes, jenem gleich sey, um welches sie seit Sonnenuntergang, d. h. seit dem Verschwinden des oberen Sonnenrandes bis zum Eintritt des ersten Maximums gesunken ist. Die auf Grund dieser Voraussetzung ausgeführten Rechnungen ergaben das Resultat, dafs *der Beginn der zweiten Dämmerung mit dem vollständigen Verschwinden des Purpurlichtes zusammenfällt.* Diefs tritt aber, so weit man es beobachten kann, gleichzeitig ein mit dem ersten Erscheinen des zweiten dunklen Segments. Und zwar entspricht diefs, wie schon erwähnt, im Durchschnitt einer Tiefe der Sonne von etwa 6°, mithin dem Ende der bürgerlichen Dämmerung.

Wäre unsere Annahme genau richtig, d. h. wäre der Verlauf der zweiten Dämmerung dem der ersten vollkommen gleich, so wäre man im Stande das Verschwinden des zweiten Dämmerungsbogens aus dem des ersten, mithin, wenn γ wirklich eine Constante ist (§. 3), aus einer einzigen Beobachtung des ersten zu berechnen. Wenn auch diese Annahme nicht genau richtig ist, sondern die zweite Dämmerung, wie schon Lambert's Beobachtungen zeigen, etwas langsamer verläuft, so fällt doch das unter dieser Voraussetzung berechnete Ende der zweiten Dämmerung so nahe mit dem für die astronomische Dämmerung durchschnittlich angenommenen zusammen, dafs es dadurch im höchsten Grade wahrscheinlich wird, dafs letzteres eben durch den Untergang des zweiten westlichen Dämmerungsbogens bestimmt wird. Die Tiefe der Sonne für diesen Moment fällt jedoch nach dieser Voraussetzung immer etwas zu gering aus, ganz im Einklange mit der Lambert'schen Beobachtung, welche für das zweite helle Segment ein entschiedenes Wachsen der Werthe von γ mit der Zeit

erkennen lassen. Da alle Erscheinungen in der Dämmerung der Gröſse nach bedeutenden Schwankungen unterworfen sind, so zeigen sich selbstverständlich auch solche in den berechneten Werthen für den Untergang des zweiten westlichen Dämmerungsbogens. Uebrigens hat auch Riccioli [1]) bewiesen, daſs das Ende der astronomischen Dämmerung auch an ein und demselben Orte wirklich verschiedenem Stande der Sonne entspricht.

Zur Illustration des eben Gesagten mag hier der Verlauf einer Dämmerung ihren Hauptzügen nach folgen, wie er sich theils aus der Beobachtung, theils unter Zugrundelegung der genannten Annahmen ergiebt. Die Werthe, bei welchen nicht ausdrücklich das Gegentheil bemerkt ist, sind der directen Beobachtung entnommen.

Den 18. Nov. 1863.

	Tiefe der Sonne
Beginn der ersten Dämmerung	49′ (ber.)
Maximum des ersten Purpurlichtes . . .	4° 52′
Beginn der zweiten Dämmerung	6° 41′ (ber.)
Das Purpurlicht ist vollständig verschwunden	6° 43′
Maximum des zweiten Purpurlichtes . . .	10° 44′
Untergang des ersten westl. Dämmerungsbogens	11° 40′ (ber.)
Untergang des zweiten westl. Dämmerungsbogens	17° 34′ (ber.).

In ähnlicher Weise ergab sich für den Beginn der zweiten Dämmerung, am

29. Nov.	eine Tiefe der Sonne von	6° 18′
8. Dec.	» » » » »	6° 0′
31. Jan.	» » » » »	5° 36′

Daſs der Grad der Zuverlässigkeit dieser Zahlen kein sehr groſser seyn kann, so lange man nicht im Stande ist, durch photometrische Hülfsmittel den Augenblick genauer zu bestimmen, in welchem das Purpurlicht sein Helligkeitsmaximum erreicht, ist selbstverständlich.

Es mag vielleicht nicht uninteressant seyn, darauf hinzu-

1) *Almagestum novum. Bonon.* 1651, *T. I, p.* 39.

deuten, dafs sich ähnliche Beziehungen, wie die hier entwickelten, zwischen dem Verlaufe der beiden Dämmerungen, aus der Annahme ergeben würden, das erste Purpurlicht übernehme für das Zustandekommen der zweiten Dämmerung dieselbe Rolle, welche die Sonne bei den Erscheinungen der ersten gespielt hat. Während jedoch die mehr röthliche Farbe des zweiten Purpurlichtes für die Richtigkeit dieser Hypothese zu sprechen scheint, steht die aufserordentlich blafsgelbe* des zweiten hellen Segments mit ihr im Widerspruch.

Künftige Beobachtungen müssen lehren, ob der in diesem Paragraphen entwickelte Zusammenhang zwischen erster und und zweiter Dämmerung richtig ist, ich begnüge mich damit die Existenz einer ersten und zweiten Dämmerung erfahrungsmäfsig nachgewiesen zu haben.

Fassen wir zum Schlusse die gewonnenen Resultate noch einmal kurz zusammen.

Schon vor Sonnenuntergang constituirt sich am östlichen Himmel die Gegendämmerung.

Im Momente des Sonnenunterganges beginnt die erste Dämmerung, das dunkle Segment erhebt sich vom Horizont, beschränkt die Gegendämmerung mehr und mehr, und entzieht sich den Blicken des Beobachters in einer Höhe, welche je nach dem Tage zwischen 6° und 12° schwankt.

Am westlichen Himmel hingegen erscheint in einer Höhe, welche zwischen 8° und 12° schwankend gefunden wurde, der Dämmerungsschein, der das unter ihm liegende gelbe helle Segment von den höheren bläulichen Theilen des Himmels trennt.

Während das helle Segment in ganz bestimmter Weise sinkt, entwickelt sich über demselben das erste Purpurlicht; bei einer Tiefe der Sonne von etwa 5° 20′ im Mittel erreicht dasselbe sein Helligkeitsmaximum, wobei nach Westen gekehrte Gegenstände lebhaft beleuchtet werden.

Das Purpurlicht sinkt rasch, und schwindet endlich zu einer schmalen Zone zusammen, welche das helle Segment

ziemlich scharf begränzt. Wenn die Sonne sich ungefähr 6° unter dem Horizonte befindet, entzieht es sich dem Blicke vollkommen, die Tageshelligkeit nimmt auffallend ab. Diefs bezeichnet das Ende der bürgerlichen Dämmerung und zugleich den Anfang der zweiten; denn ungefähr um diese Zeit erhebt sich ein zweites dunkles Segment vom östlichen Horizont, über dem ersten hellen Segmente bildet sich ein zweiter Dämmerungsschein; und während ersteres seinem Untergange zueilt, erscheint über dem zweiten hellen Segmente ein zweites Purpurlicht, so dafs eine förmliche Wiederholung der zuerst beobachteten Erscheinungen eintritt, jedoch wahrscheinlich mit einem etwas langsameren Verlaufe.

Sowie der Untergang des ersten hellen Segmentes den Schlufs der ersten Dämmerung bezeichnet, so bildet der des zweiten den der zweiten Dämmerung, vermuthlich zugleich das Ende der astronomischen.

Der ganze Verlauf der Erscheinungen steht mit der bisher üblichen Theorie nicht im Einklang. Doch scheint es, dafs die Eigenthümlichkeit des dunklen und hellen Segmentes durch eine mehr photometrische Behandlung des Problems ihre Erklärung finden werden. Eines Umstandes möge hier zum Schlusse noch gedacht werden, welcher jedenfalls erörtert werden mufs, ehe man an eine strenge theoretische Untersuchung der Dämmerung gehen kann. Es wäre nämlich denkbar, dafs die theilweise Condensation des Wasserdampfes, welche in den von der Sonne nicht mehr direct beschienenen Theilen der Atmosphäre in Folge der Abkühlung eintreten mufs, einen Einflufs auf das optische Verhalten ausübte.

Diefs ist eine von den vielen Fragen auf diesem Gebiete, deren Lösung künftiger Forschung überlassen bleibt.

München den 25. Juni 1864.

III. *Zur Kritik der Regnault'schen Versuche zur Bestimmung der specifischen Wärme fester Körper; von Carl Pape.*

In dem kürzlich erschienenen Junihefte dieser Annalen befindet sich eine Abhandlung von Hrn. Regnault über die zur Bestimmung der specifischen Wärme fester Körper angewendeten Verfahren als Erwiderung auf einen Theil meiner Arbeit über die specifische Wärme wasserfreier und wasserhaltiger schwefelsaurer Salze [1]), worin ich nachzuweisen suche, dafs die von Hrn. Regnault zur Bestimmung specifischer Wärmen angewandte Methode an gewissen Fehlern leide, und dafs in Folge davon die von ihm ermittelten Zahlen Anspruch auf die gröfstmögliche Zuverlässigkeit nicht erheben können. Der Zweck dieser Erwiderung ist, die von mir vorgebrachten Gründe zu widerlegen und zu zeigen, dafs die beanstandeten Fehler entweder durch sorgfältige Correctionen und zweckmäfsige Einrichtung der Versuche aufgehoben seyen, oder dafs sie auf das Resultat der Beobachtung überhaupt keinen Einflufs haben.

Hr. Regnault liefert bei dieser Gelegenheit eine ausführliche Darstellung der bei seinen Versuchen befolgten Correctionsmethode, er geht ausführlich auf die meisten meiner Bedenken ein und theilt neue Versuche mit, die allein in der Absicht angestellt sind, die Abwesenheit jener Fehlerquellen zu beweisen. Einzelne derselben zeigen sich danach in der That von geringerer Bedeutung, die wesentlichsten meiner Gründe erscheinen mir indefs auch jetzt noch nicht widerlegt, andere, meiner Meinung nach bedeutendere Fehlerquellen sind nur flüchtig angedeutet und es scheint für überflüssig erachtet zu seyn, ihre Abwesenheit zu beweisen. Es veranlafst mich diefs, etwas näher auf die Entgegnungen des Hr. Regnault einzugehen, gleich-

1) Diese Annalen Bd. 120, S. 579.

zeitig ist es aber auch meine Absicht, einige mir, wahrscheinlich in Folge eines Mifsverständnisses meiner Worte, zugeschriebene Behauptungen zu berichtigen.

Hr. Regnault ist, abgesehen von den beanstandeten Fehlerquellen, auch damit nicht einverstanden, dafs ich seine Versuche kritisirt habe, ohne eigene Beobachtungen über bestimmte auch von ihm untersuchte Körper vorzulegen, die meine Gründe bewiesen.

Die sorgfältige und genaue Ausführung der Versuche bürgt allein nicht für die Zuverlässigkeit der Resultate, wenn sie nach einer im Principe fehlerhaften Methode erhalten sind, es handelt sich bei der Bestimmung der specifischen Wärme deshalb vor Allem darum, die zweckmäfsigste und vortheilhafteste Methode ausfindig zu machen. Diefs wird kaum anders zu erreichen seyn, als dafs ein Jeder seine Methode mittheilt, die er angewandt hat, ihre Vorzüge aufführt und die Gründe vorbringt, die ihn eine anderweitig benutzte Methode weniger zweckdienlich erscheinen lassen. Diese Gründe sind es, welche mich namentlich zu meiner Kritik der Methode des Hrn. Regnault veranlafst haben, und ich glaube, dafs ein solches Hervorheben rein principieller Bedenken gerade so berechtigt ist und ebenso im Interesse der Sache liegt, als wenn sofort an bestimmten, schon anderweitig untersuchten Körpern das Vorhandenseyn eines angedeuteten Fehlers nachgewiesen wird.

Bei dieser Gelegenheit wiederhole ich, was ich in meiner Arbeit ausdrücklich ausspreche [1]), dafs es nicht meine Absicht gewesen ist, den zahlreichen und mühsamen Beobachtungen des Hrn. Regnault ihren immerhin grofsen Werth vollständig abzusprechen; ich habe nur zeigen wollen, dafs seine Resultate innerhalb gewisser Gränzen an Fehlern leiden, die sich vermeiden lassen. Nicht jede Beobachtungsmethode wird von vornherein frei von irrthümlichen Annahmen seyn, eine vielseitige Prüfung kann erst entscheiden, ob und in wie weit damit erhaltene Resultate

1) A. a. O, S. 580.

Zuverlässigkeit beanspruchen können. Auch die von mir benutzte Methode kann noch nicht berücksichtigte Fehlerquellen enthalten, ich will keineswegs das Gegentheil ohne Weiteres behaupten, es sind ihr aber bis jetzt keine nachgewiesen, ich selbst habe im Laufe meiner Beobachtungen keine entdecken können, es liegt also nahe, dafs ich die Gründe für abweichende Resultate in der Methode des Hrn. Regnault suche, und dafs ich Fehlerquellen hervorhebe, die sich bei dieser finden und deren Einflufs mir grofs genug scheint, um sich in den Resultaten bemerklich zu machen.

Die Frage, welche der beiden Methoden, die von Hrn. Regnault oder die von mir benutzte, im Principe den Vorzug verdiene, hier nochmals ganz im Allgemeinen zu erörtern und mich darüber auszusprechen, ob eine Frage wie die nach der besten Methode zur Bestimmung specifischer Wärmen sich nicht doch allgemein entscheiden lasse: darauf mufs ich leider verzichten. Hr. Regnault liebt Anwendungen mathematischer Sätze bei physikalischen Untersuchungen nicht, »*weil sich theoretische Betrachtungen*«, wie ich sie angewandt habe, »*in ihren aufeinander folgenden Annahmen so sehr von der Wirklichkeit entfernen, dafs kein erfahrener Beobachter heutzutage sich mehr bei ihnen aufhält*« [1]). Ohne nochmalige nähere Betrachtung der mathematischen Entwickelung, von der ich in meiner Arbeit ausgegangen bin, würde sich diese Frage in dem vorliegenden Falle aber schwer entscheiden lassen.

Es wird gewifs Niemand Hrn. Regnault daraus einen Vorwurf machen, dafs er in seinen Arbeiten sich der Anwendung von höherer Mathematik enthalten hat, aber ebenso wenig glaube ich, dafs nun auch die angeführte Ansicht allgemein getheilt wird. Jedenfalls genügt mir diese blofse Aeufserung nicht, um mich davon zu überzeugen, dafs die von mir benutzte Methode nicht auch im Principe vor der seinigen Vorzüge habe. Ich mufs deshalb nach wie vor auf der vollen Berechtigung der eingeführten Annahmen

1) Diese Ann. Bd. 122, S. 266.

bestehen, bis wirkliche Gründe dagegen geltend gemacht werden [1]). Obige Aeufserung mufs im Munde eines so geschätzten Forschers um so auffälliger erscheinen, da sie so ganz dên Anschauungen zuwiderläuft, die sich über den Nutzen der Mathematik bei physikalischen Untersuchungen seit längerer Zeit gebildet haben, und da sie so ganz die grofsen Erfolge zu leugnen scheint, die in den verschiedensten Zweigen der Physik Untersuchungen auf Grund theoretischer Betrachtungen bereits erzielt haben.

Ich werde mich hiernach darauf beschränken müssen, auf die Arbeit des Hrn. Regnault in so weit einzugehen, wie ich vorhin angedeutet habe, als sie sich mit der thatsächlichen Widerlegung der Gründe beschäftigt, die ich für das Vorhandenseyn von Fehlerquellen bei seinen Beobachtungen angeführt habe.

Die neuen Versuche, welche Hr. Regnault mittheilt, sind nach seiner Angabe mit seinem in den *Ann. de Chim. et de Phys. S. III, T.* 63, vom Jahre 1861 beschriebenen neueren Apparate angestellt. Derselbe unterscheidet sich von dem älteren Apparate äufserlich nur durch einen geringeren Durchmesser und die doppelte Höhe, im Uebrigen dadurch, dafs sein Inneres fast vollständig die Temperatur des umgebenden Dampfes von siedendem Wasser annimmt. Dieser letztere Umstand giebt ihm einen nicht zu leugnenden Vorzug vor diesem, es erscheint aber sehr zweifelhaft, ob er deshalb allein sich dazu eignet, alle angedeuteten Fehlerquellen zu prüfen, da diese bis auf eine sämmtlich nicht von der Temperatur in seinem Inneren abhängen, ihm also nach seiner Einrichtung mit dem älteren Apparate gemein seyn müssen: eine Uebereinstimmung der mit beiden Apparaten erhaltenen Resultate kann jedenfalls nicht als Beweis für ihre fehlerfreie Einrichtung angesehen werden.

Als Versuchsmaterial ist sehr zweckmäfsig reiner isländischer Doppelspath gewählt. Dieser Körper läfst sich jederzeit in genau derselben chemischen Zusammensetzung er-

1) Vergl. unten S. 293 meine Bemerkungen gegen die Einwände des Hrn. Bohn.

halten und besitzt dabei ein sehr geringes Wärmeleitungsvermögen, das ihn somit sehr geeignet erscheinen läfst, denjenigen meiner Gründe zu prüfen, der sich auf den Einflufs dieser Eigenschaft bei Anwendung voluminöser Stücke bezieht.

Hr. Regnault beginnt mit einer ausführlichen Darstellung seiner Beobachtungsart und der Mittheilung aller Einzelheiten, die bei der Ermittelung der anzubringenden Correctionen von Wichtigkeit sind. Es sind diese Angaben ohne Frage von grofsem Werthe für die Beurtheilung seiner Versuche. Es kann nur erwünscht seyn, wenn man bei den leider noch immer so schwierigen und von so vielerlei Ursachen beeinflufsten thermometrischen Untersuchungen klar zu übersehen vermag, in welcher Weise die verschiedenen Fehlerquellen in jedem einzelnen Versuche durch Correctionen vermieden sind. Er eliminirt die erkannten Fehler der verschiedensten Art mit grofser Umsicht und Geschicklichkeit, und es ist nicht zu leugnen, dafs bei seiner Methode und den Verhältnissen unter denen seine Versuche angestellt sind nicht besser hätte verfahren werden können. Ich stehe deshalb auch nicht an, zuzugeben, dafs ich in dieser Darstellung den Fehler nicht aufzufinden vermag, den ich in meiner Arbeit in Beziehung auf die angebrachten Correctionen bei den älteren Versuchen hervorgehoben habe [1]). Dagegen mufs ich auf Grund der dort citirten eigenen Angaben des Hrn. Regnault auf meiner Ansicht beharren, dafs die Art und Weise nicht zu billigen ist, wie dort die Correction für die Ausstrahlung des Mischgefäfses in der Zeit vom Eintauchen des erhitzten Körpers bis zum Eintritt des Temperaturmaximums angebracht ist. Es wird immerhin diese Correction für sich keinen übermäfsig grofsen Einflufs auf das Resultat haben, es gilt das mehr oder weniger auch von jeder der anderen bezeichneten Fehlerquellen, wenn man sie einzeln betrachtet; sind aber mehre Fehler vorhanden, von denen also einige, wie ich es auch gezeigt habe, in *demselben* Sinne

1) A. a. O. S 582.

wirken, so kann die *Summe* ihrer Wirkungen doch eine merkliche Aenderung des Resultates hervorrufen. Um jede Unsicherheit möglichst zu vermeiden, mufs auch der geringste Fehler gleich den übrigen berücksichtigt werden.

Wenn vorhin gesagt ist, dafs gegen die beschriebene Correctionsmethode für die Verhältnisse Nichts zu erinnern sey, unter denen Hr. Regnault seine Versuche angestellt hat, so habe ich damit keineswegs seine Beobachtungsmethode überhaupt billigen wollen. Ich kann mich nicht wohl damit einverstanden erklären, dafs die Hauptbeobachtung der Flüssigkeitstemperatur so lange hinausgeschoben wird, bis die Temperaturänderung der Flüssigkeit nach dem Eintritt des Maximums in der Zeiteinheit constant geworden ist. Es vergehen vom Eintauchen des Körper bis zu dieser Beobachtung bei schlechtleitenden Substanzen vier und mehr Minuten, dadurch ist man genöthigt, die Correctionen für die Abkühlung über die gleiche Zeit hin auszudehnen. Nun scheint es aber bei dem immer etwas zweifelhaften Charakter aller Correctionen, mögen sie auch noch so sorgfältig ausgeführt werden, vor Allem geboten zu seyn, sie, so weit es irgend geht, unnöthig zu machen. Die Zeit für welche sie anzubringen sind, läfst sich aufserdem durch einen passenden Apparat und durch Anwendung einer, das Resultat nicht beeinträchtigenden geringeren Menge Substanz leicht bedeutend verkürzen, wie das meine Beobachtungen zeigen. Die Zeit bis zum wahrscheinlichen Eintritt des wirklichen Maximums beträgt bei meinen Versuchen gewöhnlich nur 50 Secunden, sehr selten höchstens 1 Minute, die Dauer desselben aber höchstens 20 Secunden, so dafs die Correctionen sich in der Mehrzahl der Fälle auf höchstens eine Minute erstrecken. Ein Hauptgrund hierfür scheint mir darin zu liegen, dafs bei dem von mir benutzten Apparate die kleinen Stücke des untersuchten Körpers getrennt in die Flüssigkeit fallen, sich also viel rascher mit letzterer in Temperaturgleichgewicht setzen können, als bei den Versuchen des Hrn. Regnault, in denen sie durch das Körbchen zu einer dichteren Masse zusammengehalten

werden. Es ist diefs gleichzeitig einer der Gründe, weshalb ich dem von mir benutzten Apparate den Vorzug gebe.

Hr. Regnault hebt bei der Darstellung der verschiedenen Correctionen hervor, dafs er den Wasserwerth des erhitzten Messingkörbchens, mit dem es in die Flüssigkeit gelange, nicht berechnet, sondern durch besondere Versuche direct ermittelt habe, weil es auf dem Wege aus dem Dampfapparate in die Flüssigkeit sich etwas abkühle. Er legt hierbei besonderes Gewicht darauf, dafs er seinen Rechnungen diesen letzteren und nicht den ersteren Werth zu Grunde gelegt habe. Mir scheint diefs durch ein Mifsverständnifs einer Stelle in meiner Arbeit veranlafst zu seyn, wo ich allerdings von dieser Art, den Wasserwerth des Körbchens zu ermitteln, spreche, aber keineswegs in der Absicht daran zu mäkeln, ich bin im Gegentheil dort wie hier vollkommen damit einverstanden [1]).

Es handelte sich daselbst für mich darum, nachzuweisen, dafs die im Körbchen befindliche Substanz auf dem Wege aus dem Apparate in die Flüssigkeit einen nicht unbeträchtlichen Theil ihrer Wärme verlieren müsse. Diese Annahme scheint namentlich für nicht-metallische Körper mit starkem Ausstrahlungsvermögen gerechtfertigt zu seyn, da diese durch die weiten Maschen des Körbchens hindurch der Luft eine grofse Oberfläche darbieten und da Hr. Regnault selbst zeigt [2]), dafs der Wasserwerth des Körbchens aus schlechter strahlendem Messing um fast den *vierten* Theil seines berechneten Werthes hierbei kleiner wird. Damit ist natürlich nicht behauptet, dafs der entsprechende Verlust für die Substanz auch den vierten Theil ihrer Gesammtwärme betrage, aber selbst wenn er seinem absoluten Werthe nach nur so viel betrüge, wie der des Körbchens — in Wirklichkeit wird er gröfser seyn — so dürfte er nicht vernachlässigt werden. Es ist nicht anders anzunehmen, als dafs Hr. Regnault diesen Einwurf in Folge eines leicht

1) A. a O. S 591.

2) *Ann. de chim. et de phys. T.* 73, *p.* 32; diese Annalen Bd. 51, S. 68.

erklärlichen Mifsverständnisses in meiner Arbeit übersehen hat, sonst würde er sich ohne Zweifel für seine Zulässigkeit ausgesprochen haben.

Hr. Regnault beschäftigt sich weiter mit der Widerlegung der Annahme, die ich gemacht habe, um den auffallend niederen und dabei in den einzelnen Versuchen verschiedenen Stand des Thermometers im Dampfapparate bei den meisten seiner älteren und vielen seiner neueren Versuche zu erklären. Ich nahm an, dafs in Folge des unvollkommenen, jetzt von ihm selbst zugegebenen Verschlusses des Heizraumes am oberen Ende warme Luft entweiche, am unteren dagegen kalte Luft eintrete, und dafs bei schliefslich stationärem Stande des Thermometers in der Mitte des cylindrischen Apparates von hier an bis zur Wand die Temperatur gleichmäfsig bis zu der des umgebenden Dampfes steige, dafs somit die Substanz im Körbchen heifser als das Thermometer sey, und dafs ohne Berücksichtigung dieses Umstandes die specifische Wärme zu grofs gefunden werden müsse.

Zu dieser Annahme war ich durch den Vergleich der specifischen Wärme solcher Körper geführt, die sowohl von Hrn. Neumann als von Hrn. Regnault untersucht sind, weil sich hierbei die von Letzterem gefundenen Werthe ohne Ausnahme gröfser erwiesen, und weil der von Ersterem benutzte Apparat eine Erwärmung der Substanz genau auf die Temperatur des Dampfes von siedendem Wasser zuläfst. Um einen Begriff von der ungefähren Gröfse des genannten Fehlers zu erhalten, unternahm ich es, die specifische Wärme dieser Körper auf Grund meiner Annahme nach den Beobachtungsdaten des Hrn. Regnault zu berechnen und fand, dafs der Fehler, wenn auch die Abweichungen nicht vollständig erkläre, so doch grofs genug sey, um Berücksichtigung zu verdienen. Mehr habe ich mit der Prüfung meiner Annahme an bestimmten Beispielen nicht beabsichtigt, denn es ist mir keineswegs entgangen, dafs die Mehrzahl dieser Körper eine wenig constante Zusammemsetzung besitzen, also nicht unbedingt jedes Mal

denselben Werth für die specifische Wärme geben müssen. Da aber unter den angeführten Körpern wenigstens einige sind, die ohne Frage, wie auch von anderer Seite zugegeben wird, überall in der gleichen Reinheit zu erhalten sind, so schien die Annahme wenigstens für diese zulässig. Ich führte die Rechnung also für diese durch und dehnte sie auf die übrigen aus, um den Einfluſs des angedeuteten Fehlers an mehreren Beispielen zu zeigen, ohne jedoch seine volle Elimination und die Erklärung der Abweichungen durch ihn allein zu beabsichtigen.

Hr. Regnault erklärt die von mir gemachte Annahme für unzulässig und spricht sich im Allgemeinen sowohl, wie durch Anführung besonders zu diesem Zwecke angestellter Versuche dagegen aus. Zunächst macht er dagegen geltend, daſs man eine regelmäſsige Aenderung der Temperatur von der Axe bis zur Wand des Cylinders überhaupt nicht annehmen werde, da solche Regelmäſsigkeit nur bei einem festen Körper, aber nicht bei einem Gase eintreten könne. Er erklärt den fraglichen Temperaturunterschied durch die Luftströmungen, welche dadurch im Apparate entstehen, daſs der obere und untere durch Blechstopfen gebildete Verschluſs des Cylinders wegen der Berührung mit der äuſseren Luft stets eine niedrigere Temperatur als die Seitenwände habe; es werde in Folge davon niemals im Raume die Temperatur des Dampfes erreicht werden können, es müsse aber schlieſslich die Temperatur der durch diese Luftströme erwärmten Substanz nicht merklich von der des Thermometers verschieden seyn.

Den Temperaturunterschied erkläre ich gleichfalls durch Luftströmungen, nur kann ich nicht annehmen, daſs sie durch die niedere Temperatur der oberen und unteren Grundfläche des Cylinders allein entstehen. Es muſs meiner Meinung nach der zugegebene unvollkommene Verschluſs eine wesentliche Rolle dabei spielen, sonst ist kein Grund einzusehen, weshalb in den verschiedenen Versuchen nach eingetretener Constanz des Thermometerstandes die Temperaturdifferenz so sehr verschieden ist. Diese

Verschiedenheit läfst sich aber sehr ungezwungen durch einen zufällig mehr oder weniger vollkommenen Verschlufs, also einen schwächeren oder stärkeren Zutritt kalter Luft durch die Oeffnung am untern Stopfen erklären. Bei einer solchen dauernden Luftströmung in einer bestimmten Richtung scheint dann auch die Annahme einer regelmäfsigen Abkühlung ebenso berechtigt zu seyn, wie bei einem festen Körper.

Es wird schwierig seyn, diese Annahme direct durch den Versuch nachzuweisen, da der Fehler, welcher bei der Temperaturdifferenz zwischen Thermometer und Substanz entsteht, auf das Resultat einen, wenn auch unter allen Umständen zu berücksichtigenden, so doch seiner absoluten Gröfse nach immer noch kleinen Einflufs hat. Aus diesem Grunde kann ich auch die Versuche des Hrn. Regnault mit erhitzten Blei- und Zinncylindern von verschiedener Weite, die über die Zunahme der specifischen Wärme des Wassers mit der Temperatur, ebenso die mit Iridium unter Benutzung des alten und neuen Apparates und die Uebereinstimmung ihrer Resultate nicht wohl als Gegenbeweise ansehen. Es ist an sich im Allgemeinen schwierig, aus einzelnen Versuchen sichere Schlüsse zu ziehen, namentlich gilt das bei dieser beanstandeten Methode, da leicht eine der übrigen Fehlerquellen, deren Existenz ich auch jetzt noch bei beiden Apparaten behauptet habe, diesen Fehler mehr oder weniger verdecken kann.

Aber auch ganz abgesehen von der Gröfse dieses Fehlers, mufs seine Ursache, die Luftströmung in Folge des unvollkommenen Verschlusses, die nach der verschiedenen Gröfse der Temperaturdifferenz nicht für alle Versuche constant ist, ohne Frage eine gewisse Unsicherheit über den wahren Werth der Temperatur des Körpers bedingen. Es müfste dies schon allein genügen, die Einrichtung des Apparates zu verwerfen, deren Unzweckmäfsigkeit ich bei der Besprechung dieses und anderer Fehler hervorgehoben habe. Es scheint diefs um so mehr gerechtfertigt zu seyn, als sich ein Apparat herstellen läfst, wie ich gezeigt habe,

der in allen Fällen die Erhitzung des Körpers auf die genau bekannte Temperatur des Dampfes von siedendem Wasser gestattet [1]).

Hr. Regnault hat mit seinem neuen Apparate nach seinen Angaben dasselbe nahezu erreicht, es ist in demselben die Temperatur des Thermometers auch nahezu die des Dampfes. Wenn hier wegen der, wenn auch kleinen, aber doch noch vorhandenen Differenz eine gewisse Unsicherheit auch noch bleiben wird, so wird der dadurch bedingte Fehler hier doch wohl ganz zu vernachlässigen seyn. Meine Einwürfe rücksichtlich dieses Fehlers können sich dann auch nur auf die älteren und einige der neueren Versuche des Hrn. Regnault, aber immer doch die grofse Mehzahl, beziehen, da er anführt, dafs ein Theil der letzteren noch mit dem alten Apparate angestellt sey.

Mit einigen Worten werde ich noch auf die übrigen Versuche eingehen, die Hr. Regnault mit Doppelspath zu dem Zwecke eigens angestellt hat, um die Abwesenheit der genannten Fehlerquelle zu beweisen.

Es liegen zunächst zwei Versuchsreihen vor, die erste und die vierte, welche zeigen sollen, dafs die specifische Wärme des Kalkspathes ebenso grofs gefunden wird, wenn das Thermometer genau die Temperatur des Dampfes besitzt, wie das hier mit dem neuen Apparate erreicht werden konnte, als wenn es, wie in dem älteren Apparate, mehrere Grade niedriger steht. Es ist nicht zu leugnen, dafs die sieben Versuche dieser beiden Reihen, bis auf einen, sehr gut sowohl unter einander, als mit den sieben älteren Beobachtungen stimmen, aber als Beweis gegen die Richtigkeit meiner Behauptung dürfte diese Uebereinstimmung doch nicht gelten. Denn zufällig ist bei allen sieben älteren Versuchen die Temperatur des Thermometers sehr

1) Dieser Apparat gewährt aufserdem noch den Vortheil, dafs die Länge des Quecksilberfadens im Thermometer des Heizapparates nicht auf eine andere Temperatur reducirt zu werden braucht, da diefs Thermometer bis unmittelbar an seinen Siedepunkt von Dampf umgeben ist.

nahe der des Dampfes gleich gewesen [1]), so dafs bei diesen der beanstandete Fehler sich gar nicht hat geltend machen können.

Auch bei den Versuchen der zweiten Reihe, bei denen die Eintauchung des erhitzten Körpers stattgefunden hat, während das Thermometer noch im Steigen begriffen gewesen ist, kann ich den meiner Annahme scheinbar entgegenstehenden kleineren Werth der Resultate nicht als Gegenbeweis ansehen. Meine Annahme bezieht sich nur auf den vollkommen stationären Zustand, da man unmöglich etwas Bestimmtes über die Temperatur der Substanz annehmen kann, so lange in dem sehr grofsen Heizraume noch kein Gleichgewicht der Temperatur besteht. Es erscheint auch gar nicht unmöglich, dafs die Substanz wegen der Weite des von ihr erfüllten Raumes und weil sie die Wärme schlecht leitet, längere Zeit vor dem Eintritt des stationären Zustandes selbst noch eine geringere Temperatur besitzt, als die kleinere Masse des Thermometers. Indefs will ich hiermit nicht die kleinen Abweichungen zwischen den Resultaten dieser und der beiden zuerst genannten Versuchsreihen erklären, da sie auch andere Ursachen haben können.

Endlich hat Hr. Regnault mit dem neuen Apparate noch die dritte Versuchsreihe angestellt, indem er die untere Oeffnung des Heizraumes ganz offen liefs, um zu beweisen, dafs ein genauer Verschlufs zur Hervorbringung einer constanten Temperatur gar nicht erforderlich sey. Auch in dem Resultate dieser Versuche kann ich keinen Beweis gegen die Richtigkeit meiner Behauptung finden, da es wegen der Eigenschaft der warmen Luft, nach oben zu strömen, mir hauptsächlich auf die obere Oeffnung anzukommen scheint. Schliefst diese dicht, so wird im oberen Theile einer längeren verticalen Röhre, deren Durchmesser, wie bei diesem neuen Apparate, klein im Verhältnifs zur Höhe ist, sich bald eine constante Temperatur ein-

1) Diese Ann. Bd. 53, S. 86. Die Temperaturen waren dort: 99,55; 99,68; 99,18; 99,55; 98,74; 99,05; 99,05.

stellen, die von der Temperatur der Luft an der freien unteren Oeffnung wenig afficirt seyn wird, vollkommene Ruhe im Arbeitsraume vorausgesetzt, wie sie aber bei Versuchen dieser Art gewifs angenommen werden darf. Man wird diese Erklärung um so eher zulassen, wenn man bedenkt, dafs die Substanz im Körbchen bei den Versuchen sich in der Röhre nicht unterhalb ihrer Mitte befunden hat.

Bei den geringeren Dimensionen des neuen Apparates kann, selbst wenn auch die Luftströmungen noch existirten, die ich bei dem älteren annehme, keine so grofse Temperaturdifferenz zwischen Thermometer und Cylinderwand, um so weniger also zwischen letzterer und der Substanz bestehen und es müssen deshalb die neuen mit Kalkspath angestellten Versuche mit den bei der gleichen Temperatur und im Uebrigen unter denselben Verhältnissen ausgeführten älteren stimmen.

Die grofse Uebereinstimmung der Resultate dieser unter so verschiedenen Verhältnissen angestellten Versuchsreihen ist für den ersten Augenblick ohne Frage überraschend. Aber ich glaube, man wird zugeben, dafs die gewählten Verhältnisse nicht geeignet sind, die Unabhängigkeit der Temperatur im Heizraume von der gröfseren oder geringeren Vollkommenheit seines Verschlusses, also die Abwesenheit des angedeuteten Fehlers zu beweisen. Es hätte entweder der ältere Apparat, oder, da dieser nicht mehr vorhanden war, ein solcher von dessen Dimensionen gewählt werden müssen, ganz abgesehen davon, dafs es bei dem kleinen absoluten Werthe des Fehlers überhaupt schwer seyn wird, ihn neben anderen weniger constanten und beiden Apparaten gemeinsamen Fehlern, und namentlich aus einzelnen wenigen Versuchen für sich nachzuweisen.

Aufser dieser eben besprochenen Fehlerquelle, an welcher meiner Meinung nach die meisten der älteren Versuche des Hrn. Regnault und ein Theil der neueren leiden, habe ich noch auf das Vorhandenseyn einer anderen aufmerksam gemacht, die ihren Grund in der Vernachlässi-

gung der inneren Wärmeleitungsfähigkeit der untersuchten Substanz hat, wenn dieselbe in sehr großsen Stücken angewandt wird. Die Gröſse ihres Einflusses habe ich zwar nicht an bestimmten Beispielen mit Zahlen nachweisen können, ich habe ihr Vorhandenseyn nur wahrscheinlich zu machen und zu zeigen gesucht, daſs es im Interesse der Zuverlässigkeit der Versuche liege, ohne Rücksicht auf den absoluten Werth des Fehlers, wenn man ihn durch möglichste Zerstückelung des Körpers überhaupt vermeide.

Hr. Regnault ist auch hier nicht meiner Ansicht und sagt, daſs seine langjährige Uebung ihm die Ueberzeugung verschafft habe, daſs man bei Metallen, selbst wenn man sie wie z. B. das Magnesium, in einzelnen 50^{cc} groſsen Stücken anwende, die Leitungsfähigkeit unendlich annehmen könne. Meine Einwürfe beziehen sich nun allerdings zum Theil auf Versuche mit einzelnen groſsen Metallstücken und es mag seyn, daſs bei diesen der genannte Fehler einen geringeren Werth hat, ich will nicht behaupten, daſs er *sehr* groſs sey; ich suche diese Fehlerquelle aber namentlich auch in den Fällen, in welchen pulverförmige Substanzen in einer Hülle zu einem groſsen Volumen zusammengepreſst untersucht, oder in Fällen, in welchen Metalle nochmals mit einer schützenden Hülle von Bleifolie umgeben, oder pulverförmige Körper in eine ebensolche Hülle lose eingehüllt sind.

Um die Unzulässigkeit meiner Behauptung zu beweisen, stellt Hr. Regnault zwei Versuchsreihen mit gröſseren Kalkspathrhomboëdern von etwa 13^{mm} Seitenlänge an, also einem Körper von schlechter Wärmeleitungsfähigkeit. Es zeigt sich hierbei, daſs die erhaltenen Resultate mit denen der anderen Reihen stimmen, wenigstens sind keine groſsen Abweichungen zu bemerken. Nach meiner Ansicht können diese Versuche nur beweisen, abgesehen davon, daſs nur diese einzelnen Versuche vorliegen, daſs der beanstandete Fehler in diesem Falle nur klein ist. Eine wirkliche Bestimmung des Fehlers für sich wird hier aber ebenso schwierig seyn, wie bei den anderen Fehlern, und darauf

kömmt schliefslich gar nichts an, wenn man sonst die Mittel in Händen hat, ihn auf alle Fälle zu vermeiden.

Die Anwendung grofser Stücke führt auch noch einen anderen Uebelstand mit sich, auf den Hr. Regnault indefs gar nicht eingegangen ist, nämlich den, dafs darunter die Beweglichkeit der Flüssigkeit und somit die rasche Ausgleichung der Temperatur leidet, auf die es so wesentlich ankömmt. Ich habe bei der Besprechung seiner Versuche auf verschiedene leicht zu vermeidende Uebelstände aufmerksam gemacht, die jeder für sich zwar einen geringeren Einflufs üben können, deren *Summe* aber auf alle Fälle nicht vernachlässigt werden darf. Hr. Regnault legt grofses Gewicht darauf, jedes einzelne meiner Bedenken durch Versuche zu prüfen, er beachtet dabei nicht, dafs es bei dem kleinen Werthe der einzelnen Fehler darauf weniger ankommt, als solche Fehlerquellen überhaupt zu vermeiden, die sich vermeiden lassen, damit die schwer zu ermittelnde *Summe* ihrer Einflüsse eine sonst unvermeidliche Unsicherheit der Resultate nicht herbeiführe.

Hr. Regnault führt in seiner Abhandlung die Gründe an, die es nicht gestattet haben, einzelne in grofsen Stücken untersuchte Körper zu zerkleinern und andere ohne die von mir beanstandete Hülle aus Bleifolie zu verwenden. Ich habe nicht daran gezweifelt, dafs bei einzelnen Körpern diese Vorkehrungen nicht in der Absicht getroffen sind, um dadurch die Genauigkeit der Resultate zu erhöhen, es werden gewifs hier und da Vorsichtsmafsregeln nöthig gewesen seyn, um die Körper vor Veränderungen zu schützen, aber ich glaube, dafs darunter die Zuverlässigkeit der Beobachtung gelitten hat, und mufs den betreffenden Beobachtungen immer einen geringeren Werth beilegen als den übrigen. Bei einigen der untersuchten Körper hätten sich solche aufsergewöhnliche Hülfsmittel auch vermeiden lassen, z. B. bei dem Bor und dem Silicium wäre es vielleicht vortheilhafter gewesen, wenn sie nach einer leicht ausführbaren Veränderung des Körbchens geradezu in Pulverform in die Flüssigkeit eingeführt wären.

Bei der Erwähnung seiner Versuche mit dem Lithium legt Hr. Regnault allein darauf Gewicht, dafs ich die Einschliefsung desselben in einen starken Bleicylinder getadelt habe. Allerdings habe ich dieses getadelt, aber keineswegs allein des Verschlusses wegen, sondern namentlich auch, weil die Bleimasse einen *viermal* so grofsen Wasserwerth als das Lithium besitzt, weil in Folge davon das letztere nur geringen Einflufs auf die Wärmevertheilung erlangt, und deshalb eine zuverlässige Bestimmung seiner specifischen Wärme nicht möglich ist. Ich habe geglaubt, diese Versuche um so eher beanstanden zu dürfen, als Hr. Regnault selbst seine Versuche mit graphitischem Bor für unzuverlässig erklärt, weil bei diesen die Masse des Bleis zu grofs im Verhältnifs zu der des Bors gewesen sey, und doch ist hier der Wasserwerth des mit Blei ausgefütterten und noch belasteten Körbchens *nur zweimal* so grofs gewesen als der des Bors [1]).

Auf die Widerlegung meiner Einwürfe, die ich gegen die Einhüllung der Metalle und pulverförmigen Körper in Bleifolie und Bleikasten und die weitere Beschwerung solcher Hüllen mit gröfseren Bleimassen erhoben habe, geht Hr. Regnault speciell nicht ein, wie bei den zuerst besprochenen Gründen, obwohl es wünschenswerth gewesen wäre, er hätte auch Versuche mit Körpern in sehr grofsen Stücken mit und ohne Bleihülle gemacht, und ebenso mit zerstückelten und pulverförmigen Körpern mit und ohne Bleikasten, um zu entscheiden, ob sich dann wirklich kein Unterschied ergeben hätte. Er constatirt einfach, dafs ich an seinen Versuchen mit Lithium, Magnesium, Bor, Silicium u. a. etwas auszusetzen gehabt habe. Ich kann mich indefs hierdurch nicht von der Werthlosigkeit meiner Bedenken überzeugt halten und mufs sie aufrecht erhalten bis bestimmte Gründe dagegen geltend gemacht werden.

Aus den im Vorherstehenden entwickelten Gründen mufs ich also ungeachtet der eingehenden Erwiderung des Hrn. Regnault und der von ihm mitgetheilten neuen Beobachtungen auch jetzt noch die Ansicht aussprechen, dafs

1) A. a. O. S. 597.

seine Versuche nicht den Anspruch auf den gröfstmöglichen erreichbaren Grad der Schärfe erheben können, da sie an einzelnen, jeder für sich zwar kleinen aber nachweisbaren Fehlern und Unzulässigkeiten leiden, die sich vermeiden lassen.

Unmittelbar hinter der eben besprochenen Abhandlung des Hrn. Regnault befindet sich in dem Junihefte dieser Annalen ein Aufsatz von Hrn. Bohn in Giefsen über denselben Gegenstand. Da ich mich mit einem Theile der darin entwickelten Ansichten nicht völlig einverstanden erklären kann, so werde ich auch hierauf noch mit einigen Worten eingehen.

Nachdem Hr. Bohn den von Hrn. Regnault gegen meine Einwürfe angeführten Gründen seine volle Zustimmung gegeben hat, spricht er sich zunächst noch über die Bedeutung der von mir angeführten Fehlerqellen aus, die sie für die Bestimmung der specifischen Wärme haben würden, wenn ihr Einflufs auch noch gröfser wäre, als er in Wirklichkeit sey:

Es würden die Werthe der specifischen Wärmen doch immer nur Annäherungen bleiben und das Gesetz der Constanz des Productes aus Aequivalent-Gewicht und specifischer Wärme bei chemisch-ähnlichen Körpern davon nicht betroffen werden, derentwegen man hauptsächlich specifische Wärmen bestimmt habe. Ich theile diese Ansicht vollkommen und bin namentlich auch der Meinung, dafs es nichts desto weniger ein Interesse für sich haben müsse, die Methoden zur Ermittelung der specifischen Wärme auf einen möglichst hohen Grad der Vollkommenheit zu bringen. Es ist mir deshalb sehr lieb, dafs Hr. Bohn, um diesen Zweck zu fördern, sich über einige Punkte ausgesprochen hat, von deren Richtigkeit die Anwendbarkeit der Mischungsmethode in der von mir benutzten Form abhängt.

Es ist mir dadurch Gelegenheit gegeben, mich nochmals darüber zu äufsern und einige auf den ersten Anblick scheinbar begründete Einwände, wie ich hoffe, zu widerlegen, auf

die ich bei der Darstellung der Methode vielleicht nicht genügend Rücksicht genommen habe.

Bei Aufstellung der Differentialgleichungen, durch welche die Wärmevertheilung bei Mischungsversuchen allgemein dargestellt werden soll, habe ich angenommen, dafs das Newton'sche Abkühlungsgesetz sowohl für die Ausstrahlung zwischen Mischgefäfs und Luft, als auch für die zwischen dem eingetauchten heifsen Körper und der Flüssigkeit gültig sey. Hr. Bohn läfst diese Annahme im ersteren Falle zu, bestreitet aber, dafs sie im letzteren angewandt werden dürfe, da die Temperaturdifferenz hier im Minimum 80° C. betrage und das Newton'sche Gesetz erfahrungsmäfsig nur für Temperaturunterschiede von höchstens 20° gelte. Er schliefst hieraus und aus der Annahme, dafs auch in den ersten Sekunden nach dem Eintauchen, einem sehr merklichen Bruchtheile der bis zum Eintritt des Maximums verfliefsenden Zeit, die Differenz noch gröfser als 20° sey, das Newton'sche Gesetz also und die Differentialgleichungen für kleine Werthe der Beobachtungszeit nicht gelten, dafs deshalb die Bestimmung der Integrationsconstanten aus den zu Anfang der Zeit beobachteten Temperaturen und die Anwendung der Methode in der entwickelten Form überhaupt nicht zulässig sey.

Die Berechtigung dieses Einwandes im Principe gebe ich zu, und es sind mir die Schwierigkeiten keineswegs entgangen, die damit verknüpft zu seyn scheinen, wenn ich es auch unterlassen habe, mich ausdrücklich dagegen auszusprechen. Es wäre allerdings besser gewesen, ich hätte es gethan, ihre Bedeutungslosigkeit schien mir aber unzweifelhaft zu seyn, wenn auch nicht im Allgemeinen so doch bei, mit Rücksicht hierauf, zweckmäfsig eingerichteten Versuchen und namentlich bei der gewählten Form des untersuchten Körpers, die auch aus anderen Gründen als nothwendig nachgewiesen ist.

Der untersuchte Körper wird in allen meinen Versuchen in kleineren als erbsengrofsen Stücken angewandt; er fällt frei, ohne durch eine besondere Vorrichtung zu-

sammengehalten zu werden, aus dem Heizapparate durch die kalte Flüssigkeit auf das Sieb des Mischgefäfses, breitet sich dort zu einer dünnen Schicht aus und wird dann sofort durch heftiges Auf- und Abbewegen des Siebes von Neuem mit der Flüssigkeit in Berührung gebracht. Es zeigt bei dieser Ausführung des Versuches selbst das seitlich am Mischgefäfse angebrachte Thermometer bereits nach 3 bis 4 Sekunden weit über die Hälfte der schliefslichen Temperaturerhöhung an. Ich habe deshalb geglaubt, mich nicht von der Wirklichkeit zu entfernen, wenn ich annehme, die kleinen Körperstücke haben schon nach der ersten, höchstens der zweiten Sekunde so viel Wärme verloren, dafs ihr Temperaturüberschufs über die Flüssigkeit weniger als 20° C. beträgt, dafs also nach der zweiten Sekunde das Newton'sche Gesetz für die Abkühlung hier schon Gültigkeit hat.

Direct nachweisen wird sich die Berechtigung zu dieser Annahme für den vorliegenden Fall allerdings kaum lassen; ich habe aber, um anderweitig Gewifsheit hierüber zu erlangen ein Thermometer mit grofsem, ziemlich dickwandigem Gefäfse von etwa 15 Gr. Quecksilber Inhalt auf 100° erhitzt, darauf unter mäfsig starkem Bewegen in Wasser von 18° abgekühlt und gefunden, dafs die Abkühlung auf 40°. also eine Temperaturdifferenz von etwa 20°, nach 3 Sekunden eingetreten war. Hiernach scheint die Annahme gerechtfertigt zu seyn, dafs eine gleiche Abkühlung der sehr kleinen Stücke des untersuchten Körpers in der Zeit von 1 bis 2 Sekunden stattfinden könne, und dafs nach dieser Zeit, wenn also die Temperaturdifferenz nur etwa 20° C. beträgt, das einfache Abkühlungsgesetz gültig sey. Es findet also bei der Annahme, dafs diefs Gesetz, während der ganzen Beobachtungszeit gelte, ein Fehler von der Ordnung der Abweichung des angenommenen von dem strengen Gesetze nur in den ersten zwei Sekunden statt. Nun dauert die ganze Beobachtungszeit, vom Eintauchen des erhitzten Körpers bis zum wirklichen Maximum, d. h. dem arithmetischen Mittel aus der Anfangs- und Endzeit

desselben, wenn man die Versuche anstellt, wie ich sie beschrieben habe, gewöhnlich etwa 50 Sekunden, selten mehr und selten weniger. Der besprochene Fehler hat also nur Einfluſs in dem ersten Zwanzigstel oder Dreiſsigstel der an sich schon sehr kurzen Beobachtungszeit, und ich glaube, daſs man nicht anstehen wird, ihn in diesem Falle zu vernachlässigen oder mit anderen Worten die volle Gültigkeit des Newton'schen Gesetzes und der darauf gegründeten Gleichungen anzunehmen.

Ich bemerke noch ausdrücklich, daſs ich diese Gültigkeit nur bei der beschriebenen und leicht ausführbaren Einrichtung der Versuche annehme. Wird dagegen ein Körper in gröſseren Stücken oder durch ein Drahtkörbchen zu einer, für die freie und möglichst vielseitige Berührung mit der Flüssigkeit weniger günstigen dickeren Schicht zusammengehalten angewandt, so daſs eine schnelle Wärmeabgabe nicht möglich ist, so bin ich gleichfalls der Ansicht, daſs es dann weniger gerechtfertigt seyn wird, die Gleichungen in ihrer bisherigen Form anzuwenden, wenn ich auch meine, daſs der dadurch begangene Fehler selbst dann noch nicht das Resultat so unzuverlässig machen wird, als es bei Anwendung einer anderen Methode seyn würde.

Für die Berechnung der specifischen Wärme aus den Beobachtungsdaten nach der von mir benutzten Methode ist neben der Anfangstemperatur der Flüssigkeit und des erhitzten Körpers zur Zeit 0 das Maximum der Temperatur nach der Mischung und die Zeit seines Eintritts und Endes beobachtet. Hr. Bohn spricht sich gegen die Wahl des Maximums aus, da es wegen seiner zu groſsen Abhängigkeit von den Einflüssen der Umgebung, sowohl der Zeit seines Eintritts, als seiner Gröſse nach keine ausgezeichnete Bedeutung habe.

Im Allgemeinen muſs ich Hrn. Bohn hierin Recht geben, nur kann ich mich mit der Zulässigkeit dieses Einwandes auch bei solchen Versuchen nicht wohl einverstanden erklären, die unter Verhältnissen und Vorsichtsmaſsregeln angestellt sind, wie sie die entwickelte Methode vor-

schreibt, und von denen bei Anwendung derselben allein die Rede seyn kann. Nachdem das Maximum für die entscheidende Temperaturbeobachtung gewählt war, sind die Verhältnisse aufgesucht, unter denen diese Temperatur sich wirklich scharf und für das Resultat des Versuches günstig beobachten liefse. Es ist hierzu nöthig und genügt vollkommen, wenn die Zeit bis zum Eintritt des Maximums und die Dauer desselben sehr kurz ist. Durch eine möglichste Zerkleinerung des Körpers wird diefs erreicht, und wesentlich aus diesem Grunde ist für die benutzte Methode die Anwendung des Körpers in sehr kleinen Stücken zur Bedingung gemacht.

Das Maximum selbst läfst sich sehr scharf beobachten, dabei tritt es bei dem von mir gewählten Verhältnisse zwischen den Gewichten der Flüssigkeit und Substanz nach etwa $\frac{3}{4}$ Minuten ein und dauert nur 10 oder 15, höchstens 20 Sekunden. Es kann also nur ein sehr kleiner Fehler begangen werden, wenn man für die Zeit seines wirklichen Eintrifts, das Mittel aus seiner Anfangs- und Endzeit einführt, wie das an betreffender Stelle gezeigt ist. Auch angenommen die Beobachtung der Zeit, in welcher das Maximum der Wahrscheinlichkeit nach eintritt, also des eben genannten Mittels, sey um 5 Sekunden irrig — und so viel kann man bei der für eine genaue Beobachtung vollkommen ausreichenden Dauer des Maximums selbst im aller ungünstigsten Falle in Wirklichkeit nicht annehmen — so wird dadurch die an sich schon fast zu vernachlässigende Correction, die von dieser Zeit abhängt, gar nicht verändert.

Ich glaube also nicht, dafs etwas gegen die Wahl des Maximums zu erinnern seyn wird, vielmehr bin ich der Ansicht, dafs man schwerlich einen günstigeren Moment zur Beobachtung wählen könnte. Allerdings, wenn der Körper in gröfseren Stücken angewandt wird und aus diesem oder einem anderen Grunde die Zeit bis zum Anfang des Maximums und seine Dauer bedeutend länger währen, wird eine wahrscheinliche Annahme über den Zeitpunkt des wirkli-

chen Maximums, wie es bei Abwesenheit jedes Wärmeverlustes an die Luft seyn würde, schwer zu machen seyn und man wird unter derartigen Verhältnissen das Maximum als solches für eine so wichtige Beobachtung nicht wählen dürfen.

Ist man genöthigt, was indefs selten vorkommen wird, den zu untersuchenden Körper in gröfseren Stücken anzuwenden, so wird man sich im Interesse der Zuverlässigkeit des Resultates aus den verschiedenen, bei Besprechung der Versuche des Hrn. Regnault hervorgehobenen Gründen einer anderen, wenn auch weniger einfachen und mühsamer zum Ziele führenden Methode bedienen oder auf eine gröfsere Genauigkeit verzichten müssen. Ich glaube, dafs in einem solchen Falle die zwar mühsame und viel Zeit erfordernde Methode sehr gut zum Ziele führen wird, die Hr. Bohn vorschlägt. Es tritt bei derselben zwar die Beschränkung ein, dafs der untersuchte Körper eine möglichst grofse Wärmecapacität haben mufs, weil er sonst mit einem zu geringen calorischen Werthe in der Flüssigkeit auftreten würde, in die er mit der Temperatur des schmelzenden Eises eingeführt wird. Für die Bestimmung der specifischen Wärme solcher festen Körper und bei Anwendung eines passend gewählten Körpers von grofser Wärmecapacität auch der Flüssigkeiten scheint diese Methode sehr brauchbar zu seyn, da die von Hrn. Bohn als Beleg für ihre Anwendbarkeit mitgetheilten Beobachtungen eine sehr gute Uebereinstimmung zeigen. Einer allgemeineren Benutzung wird indefs, auch in Fällen dieser Art, namentlich wenn es gilt eine grofse Reihe von Beobachtungen anzustellen, der Umstand hinderlich seyn, dafs jede einzelne Beobachtung eine so sehr lange Zeit erfordert.

Göttingen, 16. Juli 1864.

IV. *Ueber die Concentration der Luftarten; von Prof. Dr. A. Krönig.*

Ich habe vor Kurzem die erste Hälfte eines Buches erscheinen lassen, welches betitelt ist: »Die Chemie, bearbeitet als Bildungsmittel für den Verstand«. Jeder, der sich mit den chemischen Lehrbüchern der neueren Zeit einigermafsen bekannt gemacht hat, wird, wie mir scheint, zugeben müssen, dafs das meinige an Eigenthümlichkeit der Auffassung von allen seinen Vorgängern mehr verschieden ist als irgend zwei der letzteren von einander. Hieran knüpft sich jedoch unmittelbar die Frage, ob meine neuen Ansichten für einen Fortschritt oder vielmehr für einen Rückschritt der Wissenschaft zu halten sind. Mir selbst steht ein Urtheil hierüber natürlich nicht zu. Aber ich halte es wohl für möglich, dafs auch mancher gründlich gebildete Chemiker nicht günstig über mein Buch urtheilen wird. Ich möchte auseinandersetzen, was mich zu dieser Vermuthung veranlafst.

Ich glaube zwar, dafs derjenige, welcher ohne vorgefafste Meinung den Inhalt meines Buches in sich aufnimmt, über die sämmtlichen Erscheinungen der Natur im Allgemeinen und über die chemischen im Besonderen soviel Klarheit daraus schöpfen wird, wie ein Buch von solcher Ausdehnung sie eben zu geben vermag. Wer aber die aus anderen Lehrbüchern der Chemie geschöpften Anschauungen für unumstöfslich richtig hält, der wird in dem meinigen, vom Anfang bis zum Ende hin, sehr zahlreiche Irrthümer zu entdecken glauben. Indessen kann ich doch versichern, dafs ich mich zu keinem dieser Irrthümer ohne reifliche Ueberlegung entschlossen habe, und ich darf an die etwaigen Leser meines Buches die Bitte richten, jeden derartigen Irrthum als einen Verbesserungsvorschlag zu betrachten, der immer selbst verfehlt seyn mag, der aber ziemlich

sicher auf eine Unvollkommenheit der bisherigen Anschauungsweise hindeutet.

Man wird mich nun mit Recht fragen, warum ich nicht jedem meiner Amendements sogleich auch die Motive beigefügt habe. Meine Antwort hierauf ist, dafs ich aus Gründen, deren Darlegung nicht hierher gehört, die Absicht hatte, ein *elementares* Lehrbuch der Chemie zu schreiben. Aber diese Ansicht, von der ich nie abgewichen zu seyn glaube, erlaubte mir nur in sehr seltenen Fällen eine Vergleichung zwischen meiner Auffassungsweise und der bisher in den Lehrbüchern vorgetragenen.

In Nachstehendem möchte ich mir erlauben, einem wissenschaftlichen Publikum kurz die Gründe darzulegen, die mich veranlafsten, die so allgemein angenommene Dalton'sche Theorie zu verwerfen.

Bei Besprechung des Verhaltens der Luftarten im Allgemeinen, sowie des Verhaltens heterogener Luftarten zu einander im Besonderen, würde ich geglaubt haben, von dem Gebiete der eigentlichen Chemie weiter als ich es mir erlauben durfte abzuschweifen, wenn ich auf die in meinen »Grundzügen einer Theorie der Gase« [1]) dargelegten Ansichten hätte eingehen wollen. *Die* Aufgabe dagegen glaubte ich mir allerdings stellen zu müssen, dem angehenden Chemiker das Verhalten heterogener Luftarten zu einander rein thatsächlich und ohne Beimischung irgend einer Theorie oder Hypothese mitzutheilen. Wenn mir eine Theorie bekannt gewesen wäre, aus welcher das thatsächliche Verhalten heterogener Luftarten zu einander sich mit Einfachheit hätte ableiten lassen, so würde ich freilich nicht unterlassen haben, mich dieser zu bedienen. Allein dem war nicht so. Denn mit der auf dem besprochenen Gebiete bisher in Anwendung gebrachten Methode konnte ich mich mit dem besten Willen nicht befreunden.

Vielleicht wird mancher finden, dafs ich hier Schwierigkeiten gesehen habe, die in Wirklichkeit nicht existiren. Ich mufs deshalb auf die Schwierigkeiten, die nach meiner

1) Diese Annalen Bd. 99, S. 315.

Meinung hier factisch vorhanden sind, etwas näher eingehen.

Ich wende mich zuerst zu der allgemeinen Anschauung der Dalton'schen Theorie, welche besagt, daſs heterogene Gasatome sich gegenseitig nicht abstoſsen.

Ich habe über Fragen dieser Art eine besondere Ansicht, auf die ich etwas ausführlicher eingehen muſs. Ich denke mir einen Tisch. Auf demselben liege ein fester Körper, beide Körper können nach Belieben unelastisch oder elastisch seyn. Der Tisch stehe auf der Erde und es wirke also auf den Körper, dem der Tisch zur Unterlage dient, die Schwerkraft. Nun betrachte ich es als unumstöſsliches Gesetz, daſs ein Körper, der sich in Ruhe befindet, nur so lange in Ruhe verbleiben kann, als die Resultante der auf ihn wirkenden Kräfte gleich Null ist. Da nun auf den betrachteten Körper, der Annahme nach, die Schwerkraft wirkt, und da trotz dessen sein Schwerpunkt in Ruhe verbleibt, so folgt, daſs auſser der Schwerkraft noch eine zweite Componente auf den Körper wirken muſs, die mit der Schwerkraft zusammen die Resultante Null erzeugt. Soweit meine Einsicht reicht, kann diese zweite Componente keine andere seyn als eine, von dem Tische ausgehende, gegen den besprochenen Körper ausgeübte Abstoſsung. Wenn der Tisch nicht auf jeden Körper, der ihm hinreichend nahe kommt, eine Abstoſsung ausübte, was sollte denn diesen Körper verhindern, in den Raum einzudringen, in welchem sich der Tisch bereits befindet. Nichts anderes als eine derartige von dem Tische ausgehehende Abstoſsungskraft kann, soweit ich es einsehe, den Tisch befähigen, aus dem von ihm eingenommenen Raume jeden anderen Körper auszuschlieſsen.

Die vorstehende Schluſsfolgerung ist nach meinem Dafürhalten so einfach und klar, daſs es eine einfachere und klarere kaum geben kann. Dennoch glaube ich, daſs wenige Physiker derselben beizupflichten geneigt seyn werden. Ich kann aber versichern, daſs ich, trotz jahrelanger Mühe,

nicht habe entdecken können, in welchem Punkte mein Schlufs fehlerhaft seyn mag.

Mit dem Worte »Kraft« bezeichnet man eine Ursache, welche eine Bewegung hervorbringen oder abändern kann. Nach meinen Vorstellungen über Mechanik ist es aber, wenn man nicht grofse Confusion erzeugen will, nothwendig, nicht einige nach Belieben ausgewählte Ursachen von Bewegung oder Bewegungsänderung, sondern *jede* derartige Ursache mit dem Namen Kraft zu belegen, und *alle* diese Ursachen als denselben Gesetzen unterworfen zu betrachten.

Ich kann deshalb das Verfahren solcher Physiker nicht verstehen, welche bei der Betrachtung rein mechanischer Vorgänge aufser den Kräften, die sie Kräfte nennen, noch andere Kräfte wirksam seyn lassen, die nicht Kräfte genannt werden und in Folge dessen auch wirklich keine Kräfte seyn sollen.

Diefs thut zum Beispiel Šubic in seinen »Grundzügen einer Molecularphysik (Wien, 1862)«. In der Vorrede zu dem genannten Werke spricht Šubic die Ansicht aus, dafs die Annahme von abstofsenden Molecularkräften neben anziehenden einen inneren Widerspruch enthalte, den ich für meine Person indessen nicht zu entdecken vermag. Den genannten Widerspruch will nun Šubic in seiner Molecularphysik vermeiden. So sagt er auf Seite VII der Vorrede: »Mit Zugrundelegung der alleinigen Gravitation der Materie entwickele ich zuerst die Bewegungsgesetze eines Systems von zwei Elementartheilchen, betrachte dann das Molecül als ein System von *n* solchen Elementartheilchen, und lege dieses Molecül den Molecularsystemen zu Grunde. Aus den Bedingungen des Gleichgewichts und der Bewegung in diesen Molecularsystemen entwickelt sich eine allgemeine Molecularphysik. Nach dieser Molecularphysik fällt das ganze Gebiet der Elektricität und des Magnetismus der molecularen Dynamik zu.

Mit diesen Grundzügen übergebe ich einen ersten Ent-

wurf der mechanischen Theorie der Elektricität und des Magnetismus der Oeffentlichkeit«.

Es ist aber leicht zu sehen, dafs Šubic sich im Irrthum befindet, wenn er meint, dafs die Elementartheilchen, die er sich vorstellt, keine andere Wirkung auf einander ausüben als die aus dem Gravitationsgesetz hervorgehende. In §. 1 betrachtet er »die Bewegung zweier Elementartheilchen der Materie, welche ihren alleinigen materiellen Anziehungen nach dem allgemeinen Gravitationsgesetze unterworfen sind«. Er entwickelt die Bewegungsgesetze von zwei Elementartheilchen, deren Massen m_1 und m_2 sind, welche zur Zeit $t = 0$ sich in Ruhe befinden und nach dem umgekehrten Verhältnifs des Quadrats ihrer Entfernung sich gegenseitig anziehen. Beide bewegen sich so, dafs ihr gemeinschaftlicher Schwerpunkt in Ruhe bleibt. Bei dieser Bewegung nimmt die anfängliche Entfernung der beiden Theilchen von einander mehr und mehr ab, und es ist nicht zu ersehen, auf welche Weise aus der Gravitationsanziehung allein, neben welcher keine andere Kraft auf die Theilchen wirken soll, die letzteren verhindert werden können, bis zum Abstande 0 sich zu nähern. So sagt denn auch Šubic auf Seite 9: »Aus diesen allgemeinen Ausdrücken für die Geschwindigkeit und die Zeit läfst sich die Zeit des Eintreffens der Massen m_1 und m_2 am Orte des Schwerpunktes, und auch die Geschwindigkeit bestimmen, mit welcher m_1 und m_2 daselbst ankommen.«

Es ist aber Šubic's Absicht, dafs die beiden Massentheile nicht bis zu ihrem Zusammenfallen im Schwerpunkte sich anziehen sollen, vielmehr beide Massen in einem gewissen Abstande von ihrem gemeinschaftlichen Schwerpunkt nicht allein ihre respectiven Geschwindigkeiten ganz verlieren, sondern sogar vollständig umkehren. Nun ist wohl *a priori* klar, dafs, wenn ein Körper aus der Geschwindigkeit c in die Geschwindigkeit $-c$ übergehen soll, zu dieser Geschwindigkeitsveränderung, sowie zu jeder Geschwindigkeitsveränderung, eine Kraft erforderlich ist. Da aufserdem auf das erste Theilchen keine andere als eine

von dem zweiten betrachteten Theilchen ausgehende Kraft wirken soll, so ist es auch klar, dafs die Verwandlung der Geschwindigkeit c des ersten Theilchens in die Geschwindigkeit $-c$ nur durch eine von dem zweiten Theilchen ausgehende Abstofsung hervorgebracht werden kann. Wie verfährt nun Šubic? Er leitet zuerst mit vollkommener Genauigkeit die Zeit ab, nach deren Verlauf die beiden Massen m_1 und m_2 in ihren gemeinschaftlichen Schwerpunkt eintreffen müssen. Darauf aber nimmt er an, dafs die beiden Massen m_1 und m_2 ein Volumen haben, dafs sie kugelförmig sind, dafs die Radien der Kugeln bezüglich gleich r_1 und r_2 sind, und dafs die beiden Molecüle in Folge dessen nur bis zu dem Abstande $r_1 + r_2$ ihrer Schwerpunkte sich nähern können, dafs sie in dieser Entfernung »zusammenstofsen« und nach den Gesetzen des Stofses vollkommen elastischer Körper auf einander wirken. Hier ist doch gewifs die Frage gerechtfertigt, was denn bei alleiniger Zugrundelegung des Gravitationsgesetzes die Ausdrücke Volumen, Zusammenstofs und Elasticität für eine Bedeutung haben.

Ich kann es bei dieser Gelegenheit nicht als meine Aufgabe betrachten, für die Begriffe Volumen, Stofs und Elasticität eine Definition aufzusuchen. Ich kann nur sagen, dafs, wenn man mit mir *jede* Ursache einer Bewegungsänderung (in Beziehung auf Richtung oder auf Geschwindigkeit oder auf beide zugleich) eine Kraft nennen will, zum Uebergange eines Körpers oder eines Molecüls aus der Geschwindigkeit $+c$ in die Geschwindigkeit $-c$ eine Kraft erforderlich ist, welche dieselbe Richtung wie $-c$ hat. Will man aber einige Ursachen der Bewegungsänderung nicht Kräfte nennen und anderen Gesetzen wie die übrigen Kräfte unterworfen seyn lassen, so hört eben meine Mechanik auf. Nach meinem Dafürhalten würde es übrigens, wie ich nebenbei bemerken will, Šubic schwer werden, wenn er eine mit der Wirklichkeit in Einklang stehende Definition von dem Volumen irgend eines Körpers oder Molecüls aufstellen wollte. Wir wissen nämlich, dafs

kein Körper ein *constantes* Volumen hat. Es ist kein Körper bekannt, dessen Volumen sich nicht mehr und mehr verkleinerte, mit je stärkeren Kräften man ihn zusammendrückt. Bei elastischen Körpern besonders ist dieses Verhalten aus dem Versuche, bei welchem man eine Elfenbeinkugel auf eine mit Rufs überzogene Marmorplatte fallen läfst, ganz allgemein bekannt. Will Šubic annehmen, dafs Molecüle sich in dieser Beziehung anders verhalten, wie Körper, und dafs zwei kugelförmige Molecüle, sobald ihre Schwerpunkte einander bis auf die oben genannte constante Entfernung $r_1 + r_2$ nahe gekommen sind, plötzlich eine Geschwindigkeitsänderung erfahren müssen, die je nach der Geschwindigkeit, mit welcher die beiden Molecüle den Schwerpunktsabstand $r_1 + r_2$ erreicht haben, jede beliebige Gröfse annehmen kann?

Diese Annahme würde mir sehr bedenklich vorkommen. Die neuere Naturforschung ist, soweit meine Kenntnifs derselben reicht, durchaus der Ansicht, dafs alle Kräfte nur als Functionen von Entfernungen, nicht aber als Functionen von Geschwindigkeiten zu betrachten sind, und ich meine, dafs auch Šubic dieser Ansicht vollkommen beipflichtet. Die Annahme aber, dafs zwei Molecüle, sobald sie den constanten Schwerpunktsabstand $r_1 + r_2$ erreicht haben, eine Wirkung auf einander ausüben, die von $r_1 + r_2$ unabhängig und nur eine Function der Geschwindigkeiten der beiden Molecüle ist, steht mit jener Annahme offenbar in directem Widerspruch.

Möge mir Šubic diesen Angriff nicht übel nehmen. Sollte auch mein Einwand gerechtfertigt seyn, so ist es doch sehr gut möglich, dafs seine Theorie in ihrem weiteren Verlaufe garnicht dadurch alterirt wird. Ich habe dieselbe zu meinem Bedauern nicht weiter verfolgen können, da mir durch ein hartnäckiges Augenleiden schon seit drei Jahren das Lesen fast vollständig unmöglich gemacht ist.

Ich möchte es für dienlich halten hier noch einen Einwand abzuwehren, den, wie ich glaube, manche Mathematiker mir entgegenzustellen geneigt seyn werden. Nimmt

man nämlich an, dafs zwei anfangs ruhende Molecüle einzig und allein dem Gravitationsgesetz unterworfen sind, so werden sie aus der Ruhe in eine allmählich immer schneller werdende Bewegung übergehen, dann in einem und demselben Punkte des Raumes eintreffen — ich wiederhole, dafs, wenn man keine andere Kraft als die Gravitation annimmt, die Begriffe Volumen, Stofs, Elasticität nicht existiren — und dann, nachdem die beiden Molecüle, nach gewöhnlicher Auffassungsweise ausgedrückt, sich gegenseitig durchdrungen haben, in unveränderter Richtung weiter gehen. Sind die beiden Molecüle einander ganz gleich, so läfst es sich garnicht bestimmen, ob die beiden Molecüle durch einander hindurchgegangen, oder ob sie von einander zurückgeprallt sind. Sind aber die beiden Molecüle ungleich, so lehrt die Erfahrung mit Bestimmtheit, dafs jedes Molecül nach derselben Seite zurückkehrt, von der es gekommen ist. Eine solche Rückkehr kann aber auch durch die Gravitation allein bewerkstelligt werden. Wenn nämlich die Bewegung der beiden Molecüle bei ihrer Annäherung an einander nicht ganz genau in der Richtung nach ihrem gemeinsamen Schwerpunkt hin erfolgt, so beschreiben sie um den letzteren elliptische Bahnen, und können also wenigstens nahezu ihre Annäherungsrichtung umkehren. Aber was nützt diese Vorstellung bei dem Zusammenstofse elastischer Körper der Wirklichkeit? Wer wird annehmen wollen, dafs bei der auf die Marmorplatte fallenden Elfenbeinkugel die vordersten Molecüle der Kugel während der Dauer des Stofses, um die vordersten Molecüle der Platte herum gehen, und nur in Folge einer von den letzteren ausgehenden Anziehung ihre Bewegungsrichtung umkehren? Wer wird in gleicher Weise bei dem zu Anfang besprochenen, auf einem Tische ruhenden Körper behaupten, dafs die einander zunächst liegenden Molecüle beider Körper in einer fortwährenden gegenseitigen Umkreisung begriffen sind? In dieser Vorstellung scheint mir eine solche Menge von Absurdität enthalten zu seyn, dafs es unnöthig ist, dieselbe zu detailliren. Ich glaube es des-

halb als bewiesen annehmen zu dürfen, dafs die Erscheinung des Zurückprallens ohne Annahme abstofsender Kräfte vollkommen unerklärlich ist.

Es mag seyn, dafs ich in meinen Schlüssen irgend einen auf der Hand liegenden Punkt übersehe, der sonst jedermann klar ist. Aber ich kann diesen Punkt nicht ausfindig machen. Ebenso kann ich es mit dem besten Willen nicht verstehen, wenn man sagt, dafs die Molecüle eines festen Körpers sich gegenseitig anziehen, und dafs eben auf dieser Anziehung das Wesen des festen Aggregatzustandes beruht.

Wenn in Wahrheit auf ein Molecül, welches sich etwa an der Oberfläche eines festen Körpers befindet, die übrigen Molecüle anziehend einwirken, warum soll denn dieses Molecül der Anziehung nicht Folge leisten? Wirkt aber etwa auf das in Rede stehende Molecül, aufser der eben genannten Anziehung, noch eine eben so grofse Abstofsung — und diefs mufs meiner Meinung nach wirklich stattfinden, da ja das Molecül in Ruhe bleibt — heifst es dann nicht die Confusion auf die Spitze treiben, wenn man von zwei ganz gleich grofsen und also doch auch ganz gleich berechtigten Kräften, die eine ausführlich besprechen zu müssen, die andere aber vollständig mit Stillschweigen übergehen zu dürfen meint? Man kann hiergegen nicht einwenden, dafs bei einem durch äufsere Kräfte dilatirten Körper die Molecüle allerdings sich einander nähern, sobald die dilatirenden Kräfte nicht mehr wirken; denn wenn man aus diesem Verhalten eines ausgedehnten Körpers auf eine gegenseitige Anziehung zwischen den Molecülen des nicht ausgedehnten Körpers schliefsen wollte, so müfste man aus dem Verhalten eines zusammengedrückten Körpers, dessen Molecüle beim Aufhören der Zusammendrückung sich von einander entfernen, eben so gut das Vorhandenseyn einer Abstofsung zwischen den Molecülen folgern. Das genannte Verfahren der vollständigen Vernachlässigung gewisser Kräfte wird aber nicht etwa blofs von Physikern angewandt, die vielleicht bei ihren mechanischen Betrach-

tungen auf die tiefste Gründlichkeit keinen Anspruch erheben, sondern auch die ausgezeichnetsten Mathematiker machen es nicht anders, so zum Beispiel, wenn sie das Potential eines Körpers auf einen dem Körper selbst angehörigen Punkt berechnen. Mancher Studirende der Mathematik hat gewifs anfangs noch das Gefühl, dafs ein Molecül, welches in einer gewissen Richtung angezogen wird, sich auch in dieser Richtung bewegen mufs. Es ist nun aber seine Aufgabe, sich mit den so ausgedehnten und scharfsinnigen Untersuchungen über das Potential vertraut zu machen. Bei der Berechnung des Potentials eines Körpers auf einen dem Körper selbst angehörenden Punkt findet er, dafs auf irgend einen Punkt die Resultante der Anziehungen aller übrigen Punkte in einer bestimmten Richtung wirkt. Dennoch weifs er aus der Erfahrung, dafs derselbe Punkt jener Anziehung nicht folgt, und so gewöhnt er sich denn allmählich an den Gedanken, dafs ein Punkt, auf welchen eine gewisse Kraft wirkt, deshalb durchaus nicht zu einer Bewegung in der Richtung dieser Kraft sich veranlafst zu sehen braucht.

Ich habe mir wohl die Frage vorgelegt, ob die Mathematiker ganz nach Willkühr die Entscheidung treffen, welche von den bei einem Probleme wirklich vorhandenen Kräften als solche berücksichtigt werden sollen, und welche nicht. Bei meinen geringen mathematischen Kenntnissen kann ich kaum hoffen, mir diese Frage richtig beantwortet zu haben, aber es scheint mir, dafs man sich einer Art von Zauberformel bedient, welche »Widerstand« oder »Hindernifs« heifst. Sobald man eine Kraft, wenn auch nur in Gedanken, Hindernifs benennt, so steht sie, wie ein König über dem Gesetz, und es ist nicht mehr nöthig, dafs man ihr Vorhandenseyn auch nur erwähnt. Wenn also ein Molecül oder ein Körper, unter der Einwirkung von zwei gleichen und entgegengesetzten Componenten, in Ruhe bleibt, so braucht man nur die eine der beiden Componenten für ein Hindernifs zu erklären, dann verbleibt das Mole-

cül oder der Körper unter der Einwirkung einer einzigen Kraft in Ruhe.

Ich kehre zur Betrachtung der Luftarten zurück. Wenn die Atome einer Luftart die einer anderen Luftart nicht abstofsen, so mufs sich die erste Luftart in den von der zweiten eingenommenen Raum eben so schnell wie in einen luftleeren Raum ergiefsen, und natürlich zu gleicher Zeit die zweite Luftart in den Raum der ersten. Dafs diefs nicht der Fall ist, hat Bunsen sogar dem Gesichtssinn klar gemacht. Derselbe schreibt in seinen »Gasometrischen Methoden« auf Seite 209: »Füllt man eine lange, unten verschlossene, vertical stehende Glasröhre vom Boden aus zur Hälfte mit unterchloriger Säure oder einem anderen gefärbten Gase an, so ruht im oberen Theil des Rohres auf dem gefärbten Gase eine farblose Luftsäule. Pumpt man, bevor eine Vermischung erfolgt ist, einen Theil der Luft aus, so rückt die an der Farbe erkennbare Gränzfläche beider Gase mit dem zunehmenden Grade der Verdünnung aufwärts, wobei sich der durch seitlich an der Röhre angebrachte Manometer mefsbare Druck in allen Schichten beider Gassäulen auf gleiche Weise ändert. Wir können daraus schliefsen, dafs Theilchen substantiell verschiedener Gase dieselben Druckwirkungen auf einander ausüben, wie die Theilchen gleichartiger.«

Wie ist es denn überhaupt nur möglich gewesen, dafs die Ansicht in den von einer Luftart eingenommenen Raum könnte eine zweite Luftart ungehindert eindringen, sich so allgemein Eingang verschafft hat? Es rührt dieses jedenfalls von dem Verhalten her, welches beispielsweise das Wasser zeigt, wenn man es innerhalb eines mit trockener Luft gefüllten und wohl verschlossenen Gefäfses verdampfen läfst. Unter diesen Umständen nimmt allerdings der Raum, welcher die Luft schon enthält, noch eben so viel Wasserdampf auf, wie er aufgenommen haben würde, wäre er ganz luftleer gewesen. Zu gleicher Zeit aber vermehrt sich auch der innerhalb des Gefäfses stattfindende Druck. Das entstandene Gemenge von Wasserdampf und Luft übt

nicht allein auf die Gefäfswände einen Druck aus, welcher gröfser ist wie der vorherige Druck der trockenen Luft allein, sondern es üben auch die Gefäfswände, wie es sich von selbst versteht, auf das von ihnen umschlossene Gasgemenge einen gröfseren Druck aus wie vorher auf die trockene Luft. Damit dieser Erfolg eintreten konnte, hat jedenfalls auch eine Ausdehnung der inneren Gefäfswände und eine Vergröfserung des von denselben umgebenen Raumes stattgefunden, welche indefs ihrer Kleinheit wegen für gewöhnlich schwer mefsbar seyn wird.

Jeder Körper nimmt einen um so kleineren Raum ein, je stärker der auf ihn wirkende Druck ist. Von diesem Gesetze giebt es keine Ausnahme; feste, flüssige und luftförmige Körper sind demselben gleichmäfsig unterworfen, wenn auch die Gröfse der einem gegebenen Druck entsprechenden Volumenverminderung bei verschiedenen Körpern eine sehr verschiedene ist. Kann man sich hiernach darüber wundern, wenn bei dem eben besprochenen Versuche die in dem Gefäfs enthaltene Luft eine Raumverminderung erleidet, sobald die Gefäfswände einen stärkeren Druck auf sie ausüben? Ist es ferner auffallend, dafs in den durch die Compression der Luft frei gewordenen Raum ein anderer Körper, der Wasserdampf nämlich, eindringen kann? Man wird sich hoffentlich nicht daran stofsen, dafs nach meiner Darstellung des Vorgangs, die Zunahme des Drucks der Gefäfswände dem Eindringen des Wasserdampfes in den Gefäfsraum vorhergeht. In Wahrheit sind beide Erscheinungen gleichzeitig. Wenn ich mir ausnahmsweise erlauben darf, mich im Sinne der Bewegungstheorie der Luftarten auszudrücken, so mufs ich sagen: Jedes von dem flüssigen Wasser aus in das Gefäfs hineingeschleuderte Wasserdampfatom bringt durch seinen Rückstofs ein Zurückweichen der Gefäfswand, eine Vergröfserung des Gefäfsinhalts, eine Vergröfserung des von den Gefäfswänden auf das eingeschlossene Gasgemenge ausgeübten Druckes hervor.

Man kann auch die genannte Druckvergröfserung leicht

vermittelst eines Manometers messen. Man kann nach dem Mariotte'schen Gesetze leicht die entsprechende Volumenverminderung der Luft berechnen. Subtrahirt man das jetzige Volumen der trockenen Luft von ihrem früheren Volumen, so findet man den Raum, welchen der in dem Gefäfs enthaltene Wasserdampf einnimmt. Man kann auch, statt das Gefäfs sich mit Wasserdampf füllen zu lassen, der als luftförmiger Körper erst innerhalb des Gefäfses entsteht, an Stelle des Wasserdampfs, von aufsen her, in das Gefäfs entweder noch mehr Luft oder ein anderes permanentes Gas, oder einen festen Körper einführen. Die Druckverhältnisse innerhalb des Gefäfses bleiben immer dieselben, sobald der in das Gefäfs neu eingeführte Körper hier dasselbe Volumen wie früher der Wasserdampf einnimmt.

Ist das mit Luft gefüllte Gefäfs, innerhalb dessen die Verdampfung einer Flüssigkeit stattfindet, nicht hinreichend fest verschlossen, so ist auch garnicht einmal der Anschein vorhanden, als ob der entstehende Dampf keinen Raum für sich in Anspruch nähme und also den vorher von der Luft eingenommenen Raum nunmehr mit dieser theilte. Zum Beweise hierfür kann unter anderem eine Beobachtung dienen, die jeder Physiker und Chemiker gewifs schon oft gemacht hat. Ich meine die Erscheinung, dafs eine theilweise mit Aether gefüllte Flasche, in welche beim Ausgiefsen des Aethers neue Luft eingedrungen ist, der wieder aufgesetzte Stöpsel sich von selbst lüftet und zwar häufig mehrere Male hintereinander. Man kann die genannte Erscheinung natürlich noch sicherer hervorrufen, wenn man in eine Aetherflasche vermittelst einer Röhre Luft einbläst. In meinem Buche habe ich diesen, trotz seiner Einfachheit, ganz instructiven Versuch etwas ausführlicher besprochen, jedoch natürlich von dem Standpunkt meiner weiterhin darzulegenden Anschauungsweise aus betrachtet.

Man kann diese Erscheinung noch sicherer beobachten, wenn man in einen mit einem Gase gefüllten Cylinder

eine leicht verdampfende Flüssigkeit giefst und den Cylinder rasch durch eine mit Wasser benetzte Glasplatte schliefst, so wie man es zu thun pflegt, wenn man ein Gemenge von Stickstoffoxyd und Schwefelkohlenstoffdampf anzünden will. Man sieht dann viele Luftblasen zwischen Cylinderrand und Glasplatte hindurch entweichen.

Ich meine es hiernach als feststehende Thatsache ansehen zu dürfen, dafs eine gegebene Menge irgend einer Luftart, sey sie nun ein Dampf, ein condensirbares oder ein permanentes Gas, bei gegebener Temperatur und gegebenem Druck einen bestimmten Raum einnimmt, in welchem zu gleicher Zeit kein anderer fester, flüssiger oder luftförmiger Körper enthalten seyn kann. Ich bemerke nebenbei, dafs die Bewegungstheorie der Luftarten ebenfalls zu diesem Resultate führt, da man ja nach dieser Theorie das Volumen eines Gases leicht als Function seines Gewichtes, seiner Dichtigkeit, seines Druckes und seiner Temperatur ausdrücken kann. Ich halte es somit für gerechtfertigt, wenn ich in meinem Buche die Lehre nicht reproducirt habe, nach welcher zwei heterogene Gase keine Abstofsung gegen einander ausüben sollen.

Es mufs mir, des Nachfolgenden wegen, darauf ankommen, dem Leser die Art, wie ich das Verhalten des Gemenges von einem Gase und einem Dampfe auffasse, ganz klar zu machen. Ich möchte deshalb die Entstehung eines Gemenges etwa von Wasserdampf mit Luft noch einmal und zwar in umgekehrter Reihenfolge wie vorher der Betrachtung unterziehen. Als Einleitung hierzu will ich eine kleine Berechnung einschalten, welche geeignet ist, die Auffassung der nachfolgenden Betrachtungen zu erleichtern.

Aufgabe: In einem unausdehnbaren Gefäfs von v Litre Inhalt befinden sich, vermittelst einer luftdichten ungespannten Membran von einander getrennt, g_1 Grm. eines Gases von der normalen [1]) Dichtigkeit d_1 und g_2 Grm. eines Gases von der normalen Dichtigkeit d_2; beide haben die

1) Die Dichtigkeit eines Gases bei der Temperatur 0° und unter dem Druck einer Atmosphäre nenne ich seine normale Dichtigkeit.

Temperatur 0° C. Wie werden sich beide Gase in den Inhalt des Gefäſses theilen, wie groſs werden ihre Dichtigkeiten und wie groſs wird ihr Druck innerhalb des Gefäſses seyn?

Das Volumen, welches das erste Gas einnimmt, sey bezeichnet durch v_1, das Volumen des zweiten Gases durch v_2; es ist also $v_1 + v_2 = v$. Die Dichtigkeit D_1 des ersten Gases ist $= \frac{g_1}{g_0 v_1}$, wenn g_0 das Gewicht von 1 Liter Luft bei normaler Dichtigkeit bedeutet. Ebenso ist die Dichtigkeit D_2 des zweiten Gases $= \frac{g_2}{g_0 v_2}$.

Den Druck p_1 des ersten Gases findet man aus der Gleichung $\frac{p_1}{p_0} = \frac{D_1}{d_1}$, worin p_0 den Druck einer Atmosphäre bedeutet, zu $p_1 = \frac{D_1}{d_1} p_0 = \frac{p_0 g_1}{g_0 v_1 d_1}$. Ebenso findet sich der Druck p_2 des zweiten Gases $p_2 = \frac{p_0 g_2}{g_0 v_2 d_2}$. Es ist hierbei vorausgesetzt, daſs die in dem Gefäſs enthaltenen Gase der Wirkung der Schwerkraft entzogen sind. Wäre diese Bedingung nicht erfüllt, so würden die Drucke p_1 und p_2 nicht constant, sondern vielmehr mit der Höhe der Horizontalschichten veränderlich seyn. Nach einem allgemein anerkannten Gesetze ist nun $p_1 = p_2$; wir wollen deshalb statt p_1 und p_2 einfach p schreiben. Aus den Gleichungen $\frac{p_0 g_1}{g_0 v_1 d_1} = \frac{p_0 g_2}{g_0 v_2 d_2}$ und $v_1 + v_2 = v$ findet man

$$v_1 = \frac{v \frac{g_1}{d_1}}{\frac{g_1}{d_1} + \frac{g_2}{d_2}}, \qquad v_2 = \frac{v \frac{g_2}{d_2}}{\frac{g_1}{d_1} + \frac{g_2}{d_2}}$$

und

$$p = \frac{p_0 g_1}{g_0 v_1 d_1} = \frac{p_0}{g_1 v}\left(\frac{g_1}{d_1} + \frac{g_2}{d_2}\right).$$

Ferner findet man

$$D_1 = \frac{d_1}{g_0 v}\left(\frac{g_1}{d_1} + \frac{g_2}{d_2}\right) \text{ und } D_2 = \frac{d_2}{g_0 v}\left(\frac{g_1}{d_1} + \frac{g_2}{d_1}\right).$$

Es mag mir gestattet seyn der gefundenen allgemeinen Lösung ein Zahlenbeispiel hinzuzufügen.

Die Aufgabe heifse: In einem Gefäfs von 10 Liter Inhalt befinden sich, vermittelst einer luftdichten Membran von einander getrennt, 1 Grm. Wasserstoff und 5 Grm. Stickstoff; beide haben die Temperatur 0° C. Wie werden sich beide Gase in den Inhalt des Gefäfses theilen, wie grofs werden ihre Dichtigkeiten und wie grofs wird ihr Druck innerhalb des Gefäfses seyn?

Es ist $v = 10$ Litre, $g_1 = 1$ Grm., $g_2 = 5$ Grm., $d_1 = \frac{10}{144}$ [1]) $d_2 = \frac{35}{36}$, $g_0 = \frac{144,9}{1000}$ Grm.

Es findet sich

$$v_1 = \frac{140}{19} = 7,37; \qquad v_2 = \frac{50}{19} = 2,63.$$

$$D_1 = \frac{475}{4536} = 0,105; \qquad D_2 = \frac{475}{324} = 1,46.$$

$$p = \frac{95}{63} = 1,51;$$

Es ist leicht zu sehen, wie die vorhergehenden Formeln sich gestalten, wenn die für beide Gase gleiche Temperatur nicht 0°, sondern t^0 C. beträgt. Es bleiben dann v_1, v_2, D_1 und D_2 unverändert; für p dagegen ergiebt sich der Werth

$$p = \frac{p_0}{g_0 v}\left(\frac{g_1}{d_1} + \frac{g_2}{d_2}\right)(1 + \alpha t)$$

1) Ich bin der Ansicht, dafs das Rechnen mit zweckmäfsig ausgewählten ganzen Zahlen im Allgemeinen bei weitem weniger Mühe macht als das Rechnen mit Decimalbrüchen, und habe von dieser Regel in meinem Buche eine ausgedehnte Anwendung gemacht. Ich selbst bin kein besonderer Rechner und mein Zahlengedächtnifs ist nur mangelhaft. Dennoch kann ich beispielsweise die Dichtigkeiten aller wichtigeren Luftarten, wie Sauerstoff, Wasserstoff, Wasserdampf, Stickstoff, Stickstoffoxydul, Stickstoffoxyd, Ammoniakgas, schweflichte Säure, Schwefelwasserstoff, Kohlenoxyd, Kohlensäure, ölbildendes Gas, Grubengas, Cyan, Chlorwasserstoff mit Hülfe meiner Zahlen und Methoden ohne Mühe im Kopf berechnen. Um ein ferneres Beispiel beizubringen, erlaube ich mir darauf hinzuweisen, mit welcher Einfachheit ich etwa die Aufgabe löse: Wieviel chlorsaures Kali ist erforderlich, um ein Gefäfs, welches 10 Pfd. Wasser fafst mit Sauerstoff zu füllen? Ich brauche kaum darauf aufmerksam zu machen, wie häufig jeder Chemiker bei der Darstellung von Gasen von einer leichten Lösung derartiger Aufgaben einen vortheilhaften Gebrauch zu machen in der Lage ist.

Hierin setze ich

$$\alpha = \frac{11}{3000}.$$

In Fortsetzung des vorigen Zahlenbeispiels sey $t = 20^\circ$ C. Es ergiebt sich $p = \frac{437}{270} = 1{,}62$ Atmosphären.

Wird nun in dem hier betrachteten Gefäfs die zwischen den beiden verschiedenen Luftarten befindliche Membran schnell oder langsam, ganz oder theilweise entfernt, so ist die inhaltschwere Frage aufzuwerfen: Welche Veränderungen erleiden p_1 und p_2, v_1 und v_2, D_1 und D_2? Nach meiner Meinung ist die Antwort auf diese Frage so einfach, dafs eine noch einfachere nicht möglich ist. Nach meiner Auffassung erleidet nämlich keine der genannten Gröfsen auch nur die allergeringste Veränderung. Die einzige Aenderung, die eintritt, besteht darin, dafs die beiden verschiedenen Gase sich von selbst mehr oder weniger schnell mit einander vermengen. Die beiden Luftarten verhalten sich also zu einander wie zwei beliebige feste oder flüssige Körper, bei deren Vermengung jedes Theilchen jedes Körpers seine frühere Dichtigkeit beibehält. Solche Flüssigkeiten, die durch einander diffundiren, verhalten sich dabei, von dem Werthe einer constanten abgesehen, ganz ebenso wie Luftarten. Sie vermengen sich nämlich von selbst vollständig mit einander, nur gebrauchen sie dazu eine längere Zeit. Feste Körper können nur durch äufsere Kräfte vermengt werden. Auch ist die Vollständigkeit der Mengung eine Function der Feinheit des Pulverisirens.

Um das ganz analoge Verhalten von Luftarten, Flüssigkeiten und festen Körpern bei dem beschriebenen Versuche genau zu verfolgen, ist es gut, die oben gestellte Bedingung, dafs der Inhalt des gegebenen Gefäfses der Wirkung der Schwerkraft entzogen sey, nicht aufzugeben. Es versteht sich indessen, dafs Flüssigkeiten oder feste Körper, wenn ihr Verhalten dem der Luftarten parallel bleiben soll, einem Druck unterworfen seyn müssen, der gröfser als Null ist. Denn die Fähigkeit, unter dem Drucke

Null oder gar unter einem negativen Drucke zu existiren, besitzen nur flüssige und feste Körper, nicht aber Luftarten. Bei festen Körpern ist es endlich auch noch nöthig, dafs ihr Druck in allen verschiedenen Richtungen gleich ist, da Flüssigkeiten und Luftarten die Fähigkeit, in verschiedenen Richtungen einen ungleichen Druck zu erleiden oder auszuüben, nicht theilen.

Es scheint mir, dafs man meiner Anschauungsweise den Vorzug der Einfachheit nicht streitig machen kann. Eine nähere Vergleichung derselben mit der Art, wie die Anhänger der Dalton'schen Theorie den beschriebenen Vorgang auffassen, ist mir kaum möglich, da ich mich eben in jene Theorie nicht hineinzufinden weifs. Jedenfalls glaube ich, dafs der Vorgang für die Daltonianer ein sehr complicirter ist, indem alle obigen Gröfsen, die ich für unveränderlich erkläre, allmählich (da ja die Vermengung nur allmählich erfolgt) immerfort neue Werthe annehmen müssen.

Wollte man den beschriebenen Versuch in der Weise modificiren, dafs man in das gegebene Gefäfs von 10 Litre Inhalt zuerst 1 Grm. Wasserstoff brächte und dann allmählich noch 5 Grm. Stickstoff hineinpumpte, so würde natürlich die Dichtigkeit des Wasserstoffs bei jeder neuen Einführung von Stickstoff sich vergröfsern. Denn um dem zutretenden Stickstoff Platz zu machen mufs jedes Wasserstoffatom sich auf einen geringeren Raum wie vorher beschränken. Der schliefsliche Erfolg würde aber derselbe seyn wie früher.

Ich kann nunmehr zu der Besprechung des Vorganges schreiten, welcher eintritt, wenn in einem Gefäfse reiner Wasserdampf sich befindet und zu diesem allmählich Luft zutritt, um so ein Gemenge von Wasserdampf und Luft zu bilden. Meine Darlegung gewinnt vielleicht an Verständlichkeit, wenn ich mich auf ein concretes Beispiel beziehe.

Ideelle Dichtigkeit eines Dampfes nenne ich diejenige, welche ein Dampf haben würde, wenn er ein permanentes Gas wäre. Die ideelle Dichtigkeit des Wasserdampfs bei

0° C. und unter dem Druck einer Atmosphäre ist $\frac{5}{8}$. Diefs ist also die ideelle normale Dichtigkeit des Wasserdampfs.

Es ist zwar die wirkliche Dichtigkeit jedes *existirenden* Dampfes seiner ideellen Dichtigkeit stets gleich. Es treten aber Verhältnisse ein, unter denen irgend ein Dampf nicht zu existiren vermag, und unter solchen erst später zu besprechenden Verhältnissen kann natürlich von einer Gleichheit der ideellen und der wirklichen Dichtigkeit nicht mehr die Rede seyn. So hat Wasserdampf unter dem Druck einer Atmosphäre und bei 0° C. die Dichtigkeit $\frac{5}{8}$. Für die Existenz dieses Wasserdampfs ist es aber Bedingung, dafs er mit einer grofsen Quantität irgend einer anderen Luftart gemengt sey. *Reiner* Wasserdampf kann unter dem Druck einer Atmosphäre bei 0° C. nicht existiren, und von der wirklichen Dichtigkeit des reinen Wasserdampfs unter dem Druck einer Atmosphäre und bei 0° C. kann also überhaupt garnicht die Rede seyn. Der concrete Fall, den ich ins Auge fassen will, ist so gewählt, dafs die ideelle Dichtigkeit des Wasserdampfs nicht aufserhalb der Gränzen der Möglichkeit liegt.

In einem Gefäfs von 15 Liter Inhalt seyen 2 Decigrm. Wasserdampf von 30° C. enthalten. Wir haben $p_0 = 1$ Atmosphäre; $g_0 = \frac{9\,144}{1000}$ Grm., $v = 15$ Litre, $g_1 = \frac{2}{10}$ Grm. $g_2 = 0$, $d_1 = \frac{5}{8}$, $\alpha = \frac{11}{3000}$, $t = 30$.

Wir finden

$$p = \frac{p_0}{g_0 v}\left(\frac{g_1}{d_1} + \frac{g_2}{d_2}\right)(1 + \alpha t) = \frac{37}{2025} = 0{,}0183 \text{ Atmosphären}$$

$$D_1 = \frac{g_1}{g_0 v} = \frac{5}{486} = 0{,}0103.$$

Man lasse nun in das Gefäfs Luft einströmen und zwar etwa soviel, dafs sich der Druck auf $\frac{1}{2}$ Atmosphäre erhöht, während die Temperatur ungeändert gleich 30° C. bleibt. Es ist dann $d_2 = 1$, der nunmehrige Druck $p = \frac{1}{2}$. Was uns besonders interessiren mufs, ist das nunmehrige D_1, nämlich die jetzige Dichtigkeit des Wasserdampfes. Um

D_1 zu bestimmen, kann man g_2, das Gewicht der eingedrungenen Luft, berechnen aus der Gleichung

$$\frac{g_2}{d_2} = \frac{p g_0 v}{p_0(1 + \alpha t)} - \frac{g_1}{d_1},$$

um den gefundenen Werth

$$g_2 = \frac{7804}{925} = 8{,}44 \text{ Grm.}$$

einzusetzen in

$$D_1 = \frac{d_1}{g_0 v}\left(\frac{g_1}{d_1} + \frac{g_2}{d_2}\right)$$

Einfacher jedoch entwickelt man

$$\frac{D_1}{p} = \frac{d_1}{p_0(1 + \alpha t)}.$$

Es ergiebt sich

$$D_1 = \frac{125}{444} = 0{,}282.$$

Der Wasserdampf hat also seine Dichtigkeit von 0,0103 auf 0,282 erhöht, um der eintretenden Luft Platz zu machen.

Ich glaube nun mit Evidenz dargethan zu haben, dafs auch das Verhalten der Gemenge von Gasen und Dämpfen nicht die geringste Veranlassung zur Annahme des Dalton'schen Gesetzes bietet. Es ergiebt sich, wie ich meine aus dem Vorhergehenden klar, dafs, so lange noch keine Condensation eintritt, von der hier noch nicht die Rede ist, jede Luftart und also auch jeder Dampf unter jedem Drucke dem Mariotte'schen Gesetze Folge leistet, mag nun der Druck durch einen festen oder durch einen flüssigen, durch einen gleichartigen oder durch einen heterogenen luftförmigen Körper hervorgebracht seyn.

Man wird weiter leicht einsehen, dafs ich auch der Vorstellung, nach welcher in einem Gasgemenge jedem einzelnen Gemengtheile ein besonderer Partialdruck zukommt, meinerseits nicht beipflichten kann. In einem solchen Gemenge befindet sich jedes Theilchen unter ein und demselben Druck, welcher eben deshalb oben nicht mit p_1 oder p_2, sondern mit p bezeichnet wurde.

Die Vorstellung von Partialdrucken läfst sich wohl ei-

nigermafsen vertheidigen, aber nach meinem Urtheil nicht auf stichhaltige Weise. Wenn ein Gasgemenge auf einen festen oder flüssigen Körper drückt, so kann man von diesem Druck allerdings sagen, dafs er zum Theil von dem ersten, zum Theil von dem zweiten usw. Gemengtheile ausgeübt wird. Es ist dabei auch gleichgültig, ob man die kleinsten Theile der Gase als ruhend, oder nach der neueren Theorie als in fortwährender Bewegung begriffen ansieht. Warum, so wird man mich fragen, soll es nicht erlaubt seyn, den in Wirklichkeit vorhandenen Gesammtdruck in die Theile, aus denen er besteht, zu zerlegen?

Es scheint hier ein Paradoxon vorzuliegen. Ich habe früher erklärt, dafs jedes kleinste Theilchen eines Gasgemenges unter demselben Druck steht und denselben Druck hervorbringt; jetzt aber mufs ich zugeben, dafs im Knallgase zum Beispiel zwei Drittel des gesammten Drucks durch den Wasserstoff hervorgebracht werden, wogegen von dem Sauerstoff nur ein Drittel des Drucks herrührt.

Die Ursache dieses scheinbaren Widerspruchs liegt darin, dafs man das Wort Druck in zwei verschiedenen Bedeutungen gebraucht. Die beiden durch dasselbe Wort Druck bezeichneten Begriffe stehen zu einander in derselben Beziehung wie etwa die Begriffe Weg und Geschwindigkeit. Ein Weg ist eine von einem bewegten Punkte durchlaufene Linie. Unter Geschwindigkeit versteht man den während einer Zeiteinheit, welche man nach Belieben auch unendlich [1]) klein wählen kann, zurückgelegten Weg. Druck nennt man eine Abstofsung, welcher durch eine Gegenkraft (die entweder Druck oder Zug seyn kann) das Gleichgewicht gehalten wird. Zweitens aber versteht man unter Druck noch etwas anderes, nämlich den auf eine Flächen-

1) Dieses Ausdrucks will ich mich hier der Kürze halber bedienen, obgleich ich der Ansicht bin, dafs in der unseren Sinnen zugänglichen und deshalb allein von uns zu betrachtenden Wirklichkeit, und wenn sie auch nebst dem als Bruchtheil einer Wellenlänge auszudrückenden Gangunterschiede zweier Lichtstrahlen den etwa nach Siriusweiten zu messenden Umfang der gesammten Milchstrafse umfafst, weder etwas unendlich Kleines noch etwas unendlich Grofses existirt.

einheit wirkenden Druck. Um jedem bei der Doppeldeutigkeit des Wortes Druck leicht möglichen Mifsverständnifs vorzubeugen, will ich die erste Art des Druckes, bei welcher die Gröfse der von demselben betroffenen Fläche nicht berücksichtigt wird, nicht mehr Druck, sondern Pressung benennen. So wie eine Geschwindigkeit den während der Zeiteinheit zurückgelegten Weg bedeutet, so soll das Wort Druck die auf eine Flächeneinheit wirkende Pressung bezeichnen. Zur Messung einer Pressung gebraucht man die Waage; um einen Druck zu messen, bedient man sich des Manometers. Zur Beschreibung eines Weges ist nur Längenmaafs erforderlich, zur Beschreibung einer Geschwindigkeit Längenmaafs und Zeitmaafs. Zur Beschreibung einer Pressung sind nur Gewichte erforderlich. Zur Beschreibung eines Drucks aber Gewichte und Flächen. So kann man sagen: Ein Druck beträgt 7 Pfd. auf einen Quadratzoll. Häufiger aber mifst man einen Druck durch eine gleichartige Gröfse, das heifst durch einen anderen Druck, und spricht also beispielsweise von einem Druck von 7 Zoll Quecksilber. Geschwindigkeiten in entsprechender Art zu messen, ist nicht Sitte. Es würde indessen nichts im Wege stehen, wenn man alle Geschwindigkeiten etwa durch die des Schalls messen wollte.

Ich würde es nur für dienlich halten, wenn man sich allgemein vornähme, fortan die Worte Pressung und Druck ebenso sorgfältig von einander zu unterscheiden, wie jeder Physiker die Worte Weg und Geschwindigkeit aus einander zu halten pflegt. Im Obigen habe ich übrigens das Wort Druck nur der jetzigen Feststellung gemäfs angewendet. Für jedes Theilchen eines und desselben Luftgemenges [1]) ist der Druck p gleich grofs (abgesehen natür-

1) Ich nenne jeden luftförmigen Körper eine Luftart. Die Luftarten theile ich ein in Gase und Dämpfe. Ein Dampf ist ein luftförmiger Körper der unter gewöhnlichen Verhältnissen von Temperatur und Druck auch flüssig oder fest seyn kann. Die Ausdrücke »Luft« und »atmosphärische Luft« betrachte ich als gleichbedeutend. In Zusammensetzungen wie »luftleer«, »luftdicht«, »Luftdruck« oder »Luftpressung«, »Luftgemenge« bedeutet das Wort Luft soviel wie Luftart. Ein luftleerer Raum ist

lich von dem für gewöhnlich zu vernachlässigenden Einflusse, den das Gewicht des Luftgemenges ausübt, und welcher einen mit wachsender Entfernung vom Erdmittelpunkte abnehmenden Druck bedingt). Wenn die im Obigen dargelegten Ansichten richtig sind, so hat es eben keinen Sinn etwa im Knallgase dem Wasserstoff einen anderen Druck als dem Sauerstoff beizulegen.

Mit der Pressung, die ein Luftgemenge hervorbringt, verhält es sich zwar anders. Man kann diese Pressung recht wohl nach den verschiedenen Bestandtheilen des Gemenges in einzelne Theile zerlegen. Ich muſs indessen gestehen, daſs mir diese Anschauungsweise keinerlei Vortheil mit sich zu bringen scheint. Hiermit meine ich die Vorstellung von Partialdrucken, welche die verschiedenen Bestandtheile eines Luftgemenges ausüben sollen, zurückgewiesen zu haben. Ich muſs mich endlich noch zu der Auffassung wenden, nach welcher jeder Bestandtheil eines Luftgemenges eine besondere Elasticität, Spannung oder Expansivkraft besitzt. Zum Beweise der Unhaltbarkeit dieser Vorstellung wüſste ich etwas Neues kaum noch anzuführen. Denn wenn alle Theilchen eines Luftgemenges denselben Druck ausüben oder auch erleiden, so besitzen auch alle Theilchen gleiche Elasticität. Bei Luftarten werden eben die Ausdrücke Druck und Elasticität in identischem Sinne gebraucht. Nur pflegt man bei der Elasticität, stillschweigend und als ob sie sich ganz von selbst verstände, die Voraussetzung zu machen, daſs ein Luftgemenge eine totale Elasticität garnicht besitzen kann, daſs vielmehr eine Elasticität nothwendigerweise auf eine homogene Luftart bezogen werden muſs. Hiermit steht es im Einklang, daſs man zwar häufig von Partialdrucken, nicht aber von Partialelasticitäten zu sprechen pflegt.

Ich will indessen nicht verschweigen, daſs der Begriff der Elasticität der Luftarten sehr leicht zu einem Miſsverständniſs Veranlassung geben kann. Dieſs besteht darin,

also der, welcher keine Luftart enthält, ein Luftgemenge, ein Gemenge von verschiedenen Luftarten.

dafs man meint, der Druck der Luft sey ein für allemal eine Folge ihrer Elasticität. Diese Meinung ist unrichtig. Wenn man eine elastische Spiralfeder auf eine Waageschale legt, so bestimmt man nicht ihre Elasticität, sondern ihr Gewicht oder ihre Pressung. Dasselbe würde stattfinden, wenn man die elastische Feder auf das Quecksilber in den kurzen Schenkel eines Barometers brächte. Auch hier würde man an dem Steigen des Quecksilbers im langen Schenkel nicht die Elasticität der Feder, sondern nur den durch die Vertheilung der Pressung der Feder auf den ganzen Querschnitt des Quecksilbers hervorgebrachten Druck beobachten. In einem oben offenen Gefäfse kann die Luft nach untenhin keine andere Pressung als die ihres Gewichtes ausüben, welche von ihrer Elasticität ganz unabhängig ist.

Diefs sind die Gründe, die mich bewogen haben, in dem Eingangs dieser Abhandlung erwähnten Buche weder die Dalton'sche Theorie noch die daraus abgeleitete Lehre von Partialdrucken oder Spannungen zu erwähnen. Ich habe nunmehr aus einander zu setzen, auf welche Art ich den Schwierigkeiten auszuweichen gesucht habe, mit welchen die alte Anschauungsweise mir unzertrennbar zu seyn scheint. Ich hoffe, dafs vielleicht einige Physiker mein Verfahren einfach und klar genug finden werden, um einen vortheilhaften Ersatz des bisher gebräuchlichen bilden zu können. Zur Ergänzung des Obigen möchte ich mir hier noch die Bemerkung erlauben, dafs bei einem Gemenge von mehr als zwei Luftarten offenbar Formeln gelten, die den oben entwickelten ganz analog sind. Ich will zum Ueberflufs die auf ein Gemenge von drei Luftarten bezüglichen Formeln hier entwickeln.

Aufgabe: In einem Gefäfs von v Cubikfufs Inhalt befinden sich, von einander gesondert oder mit einander gemengt, g_1 Loth einer Luftart von der ideellen normalen Dichtigkeit d_1, ferner g_2 Loth einer Luftart von der ideellen normalen Dichtigkeit d_2, endlich g_3 Loth einer Luftart von der ideellen normalen Dichtigkeit d_3, alle von der

Temperatur t^0 C. Wie werden sich diese drei Luftarten in den Inhalt des Gefäfses theilen, wie grofs werden ihre Dichtigkeiten und wie grofs wird ihr Druck innerhalb des Gefäfses seyn?

Die Volume der drei Luftarten seyen bezüglich v_1, v_2, v_3; es ist also $v_1 + v_2 + v_3 = v$. Die Dichtigkeit D_1 des ersten Gases ist gleich $\frac{g_1}{g_0 v_1}$, wenn g_0 das Gewicht von 1 Cubikfufs Luft bei normaler Dichtigkeit bedeutet. Ebenso hat man

$$D_2 = \frac{g_2}{g_0 v_2} \text{ und } D_3 = \frac{g_3}{g_0 v_3}.$$

Den Druck p_1 der ersten Luftart findet man aus der Gleichung $\frac{p_1}{p_0} = \frac{D_1}{d_1}(1 + \alpha t)$, worin p_0 den Druck einer Atmosphäre und α den Ausdehnungscoëfficienten der Luftarten bedeutet, zu

$$p_1 = \frac{D_1}{d_1}(1 + \alpha t) p_0 = \frac{p_0 g_1}{g_0 v_1 d_1}(1 + \alpha t).$$

Ebenso findet man

$$p_2 = \frac{D_2}{d_2}(1 + \alpha t) p_0 = \frac{p_0 g_2}{g_0 v_2 d_2}(1 + \alpha t)$$

$$p_3 = \frac{D_3}{d_3}(1 + \alpha t) p_0 = \frac{p_0 g_3}{g_0 v_3 d_3}(1 + \alpha t).$$

Da nun $p_1 = p_2 = p_3$ ist, so wollen wir statt p_1, p_2 und p_3 einfach p schreiben.

Aus $p = \frac{p_0 g_1}{g_0 v_1 d_1}(1 + \alpha t)$ findet man $\frac{v_1 d_1}{g_1} = \frac{p_0}{p g_0}(1 + \alpha t)$

Der letztere Werth sey zur Abkürzung bezeichnet durch A; dann hat man

$$v_1 = \frac{A g_1}{d_1}, \qquad v_2 = \frac{A g_2}{d_2}, \qquad v_3 = \frac{A g_3}{d_3}.$$

Durch Addition der drei letzten Gleichungen ergiebt sich

$$v = A\left(\frac{g_1}{d_1} + \frac{g_2}{d_2} + \frac{g_3}{d_3}\right),$$

$$A = \frac{v}{\frac{g_1}{d_1} + \frac{g_2}{d_2} + \frac{g_3}{d_3}}.$$

Also hat man

$$v_1 = \frac{\frac{g_1}{d_1} v}{\frac{g_1}{d_1} + \frac{g_2}{d_2} + \frac{g_3}{d_3}}, \quad v_2 = \frac{\frac{g_2}{d_2} v}{\frac{g_1}{d_1} + \frac{g_2}{d_2} + \frac{g_3}{d_3}}, \quad v_3 = \frac{\frac{g_3}{d_3} v}{\frac{g_1}{d_1} + \frac{g_2}{d_2} + \frac{g_3}{d_3}}$$

und aufserdem

$$p = \frac{p_0}{g_0 v} \left(\frac{g_1}{d_1} + \frac{g_2}{d_2} + \frac{g_3}{d_3} \right) (1 + \alpha t)$$

Endlich findet sich

$$D_1 = \frac{d_1}{g_0 v} \left(\frac{g_1}{d_1} + \frac{g_2}{d_2} + \frac{g_3}{d_3} \right)$$

$$D_2 = \frac{d_2}{g_0 v} \left(\frac{g_1}{d_1} + \frac{g_2}{d_2} + \frac{g_3}{d_3} \right)$$

$$D_3 = \frac{d_3}{g_0 v} \left(\frac{g_1}{d_1} + \frac{g_2}{d_2} + \frac{g_3}{d_3} \right)$$

Als Zahlenbeispiel mag das folgende dienen.

Aufgabe: Es sey das der ersten Seite der Gleichung

$$C_8 H_{20} O_2 + 24 O + 96 N = 8 CO^2 + 10 H_2 O + 96 N$$

entsprechende Gemenge von 0,37 Loth (Zollloth) Aetherdampf und 0,96 Loth Sauerstoff, 3,36 Loth Stickstoff bei 15° C. und unter dem Druck einer Atmosphäre. Welchen Raum nehmen die drei Luftarten ein?

Es ist gegeben das Gewicht g_1 des Aetherdampfes gleich 0,37 Loth, das Gewicht g_2 des Sauerstoffs gleich 0,96 Loth, das Gewicht g_3 des Stickstoffs gleich 3,36 Loth, ferner die ideelle normale Dichtigkeit d_1 des Aetherdampfs, welche sich nach meinen Methoden zu $\frac{185}{72}$ berechnet, die normale Dichtigkeit d_2 des Sauerstoffs gleich $\frac{10}{9}$, die des Stickstoffs $d_3 = \frac{35}{36}$, endlich der Druck $p = 1$, die Temperatur $t = 15°$ C. Aufserdem ist das Gewicht g_0 von 1 Cubikfufs (rheinländisch) Luft gleich $\frac{12}{5}$ Loth, $\alpha = \frac{11}{3000}$, $p_0 = 1$ Atmosphäre.

Aus dem Ausdruck für p ergiebt sich unmittelbar

$$v = \frac{p_0}{p g_0} \left(\frac{g_1}{d_1} + \frac{g_2}{d_2} + \frac{g_3}{d_3} \right) (1 + \alpha t) = \frac{19623}{10000} \text{ Cubikfufs.}$$

Ferner findet man aus den Ausdrücken für v_1, v_2, v_3

$$v_1 = \frac{633}{10000}, \quad v_2 = \frac{3798}{10000}, \quad v_3 = \frac{15192}{10000}.$$

An die Berechnung dieser Aufgabe möchte ich noch eine Bemerkung knüpfen. Der gegebene Sauerstoff bildet nämlich mit dem gegebenen Stickstoff nichts anderes als Luft von der normalen Dichtigkeit 1 (wenn man voraussetzt, dafs die Luft ein Gemenge von 1 Maafs Sauerstoff und 4 Maafs Stickstoff ist). Betrachtet man nun die Luft als ein reines Gas, für welches also $g_2 = 4{,}32$ Loth, $d_2 = 1$ ist, so findet man wieder $v = \frac{19623}{10000}$, $v_1 = \frac{633}{10000}$; folglich das jetzige v_2 gleich dem früheren $v_2 + v_3$. Es steht also nichts im Wege, bei derartigen Rechnungen die Luft als ein reines Gas zu betrachten.

Die Uebereinstimmung der Formeln für drei Luftarten mit den oben für zwei Luftarten entwickelten ist so augenfällig, dafs ich mich weiterhin auf die Betrachtung eines Gemenges von zwei Luftarten beschränken kann.

Um nun zu dem eigentlichen Inhalt meines Aufsatzes, der Betrachtung der Concentration der Luftarten nämlich, überzugehen, will ich noch einige Ausdrücke erklären, von denen ich sogleich Anwendung zu machen habe. Um Mifsverständnissen vorzubeugen, bemerke ich noch, dafs ich unter Dichtigkeit einer Luftart stets die auf Luft von der Temperatur 0° C. und unter dem Druck einer Atmosphäre bezogene Dichtigkeit verstehe.

Dichtigkeit einer als rein gedachten Luftart nenne ich die Dichtigkeit, welche eine Luftart haben würde, wenn sie den Raum, den sie mit beigemengten heterogenen Luftarten theilt, allein einnähme. Es ist leicht einzusehen, dafs in den obigen Berechnungen die Dichtigkeit der ersten als rein gedachten Luftart gleich $\frac{g_1}{g_0 v}$, die Dichtigkeit der zweiten als rein gedachten Luftart gleich $\frac{g_2}{g_0 v}$ ist.

Ich werde ferner von der *ideellen Dichtigkeit einer Luftart bei der Temperatur t und unter dem Drucke* 1 sprechen. Dieser Ausdruck bedarf kaum einer Erklärung. Unter Bei-

behaltung der früheren Bezeichnung findet man aus der Gleichung

$$\frac{p_1}{p_0} = \frac{D_1}{d_1}(1 + \alpha t) \text{ den Werth } D_1 = \frac{p_1 d_1}{p_0(1 + \alpha t)}.$$

Will man hieraus die Dichtigkeit unter dem Drucke $p_1 = 1$ ableiten, so versteht es sich, dafs p_0 durch dieselbe Einheit gemessen werden mufs wie p_1. Will man p_1, sowie es im Obigen immer geschehen ist, durch den Druck einer Atmosphäre messen, so ist natürlich $p_0 = 1$. Aber es steht auch nichts im Wege p_1 etwa durch den Druck einer Quecksilbersäule von 1mm Höhe zu messen; dann hat man $p_0 = 760$ zu setzen. In diesem Fall würde also die ideelle Dichtigkeit der ersten Luftart für die Temperatur t und unter dem Druck von 1mm Quecksilber gleich $\frac{d_1}{760(1+\alpha t)}$ seyn.

Concentration einer Luftart endlich bedeute die Dichtigkeit der als rein gedachten Luftart, gemessen durch ihre ideelle Dichtigkeit bei derselben Temperatur und unter dem Drucke 1.

Nunmehr fasse man den im Obigen für den Druck eines Luftgemenges abgeleiteten Ausdruck ins Auge, welcher hiefs

$$p = \frac{p_0}{g_0 v}\left(\frac{g_1}{d_1} + \frac{g_2}{d_2}\right)(1 + \alpha t).$$

Diesen kann man leicht umformen in

$$p = \frac{g_1}{g_0 v} : \frac{d_1}{p_0(1 + \alpha t)} + \frac{g_2}{g_0 v} : \frac{d_2}{p_0(1 + \alpha t)}.$$

Die rechte Seite dieser Gleichung besteht aus zwei Gliedern. Jedes Glied besteht aus Dividendus und Divisor. Der Dividendus des ersten Gliedes stellt die Dichtigkeit der als rein gedachten ersten Luftart vor. Der Divisor des ersten Gliedes ist nichts anderes als die ideelle Dichtigkeit der ersten Luftart bei der Temperatur t und unter dem Drucke 1. Folglich bedeutet das erste Glied selbst die Concentration der ersten Luftart. Das zweite Glied aber bedeutet die Concentration der zweiten Luftart.

Die letzte Gleichung drückt also das Gesetz aus, dafs

der Druck eines Luftgemenges gleich ist der Summe der Concentrationen der einzelnen Luftarten.

Führt man zur Bezeichnung einer Concentration den Buchstaben C ein, so dafs also

$$C_1 = \frac{g_1}{d_0 v} : \frac{d_1}{p_0(1+\alpha t)}$$

ist, so ergiebt sich die einfache Gleichung

$$p = C_1 + C_2.$$

Ich habe zunächst darauf aufmerksam zu machen, dafs mein Begriff der Concentration einer Luftart numerisch genau mit demjenigen zusammenfällt, was man bisher Partialdruck oder Spannung einer Luftart genannt hat, sowie denn bei einer wirklich reinen Luftart auch nach meiner Auffassung Druck und Concentration identisch werden. Ich meine, dafs diejenigen, die überhaupt mit meinen Vorstellungen über das Verhalten eines Luftgemenges einverstanden sind, in der genannten Uebereinstimmung nur eine Empfehlung meiner Theorie erblicken können. Denn in Folge dieser Uebereinstimmung bedarf kein experimentell bestimmter Werth eines Dampfdrucks irgend einer Umformung, sobald man ihn nach der neuen Anschauungsweise zu irgend einer Rechnung benutzen will.

Wer auf theoretische Betrachtungen überhaupt kein Gewicht legt, der wird mein ganzes bisher vorgetragenes Raisonnement einfach für überflüssig erklären, da ich mit meinen Concentrationen nur zu demselben Resultat gelangt bin, welches man früher mit Hülfe der aus dem Dalton'schen Gesetz abgeleiteten Partialdrucke erreicht hat. Mir für meine Person scheint es indessen allerdings ein Fortschritt zu seyn, wenn aufser der Unbegreiflichkeit der Dalton'schen Theorie auch ihre vollkommene Entbehrlichkeit nachgewiesen ist.

Zur weiteren Empfehlung meiner Ansichten erlaube ich mir noch auf die unmittelbar sich ergebende Relation

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{g_1}{d_1} : \frac{g_2}{d_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

hinzuweisen, welche, wie der folgende Aufsatz zeigen wird, für manche Berechnungen sehr bequem ist.

Wenn der neue Begriff der Concentration einer Luftart den früheren des Partialdrucks zu ersetzen bestimmt und geeignet ist, so erstreckt sich diese Substitution auch auf das Verhalten der Dämpfe. Jedem Dampfe (eigentlich freilich jedem luftförmigen Körper) entspricht bei jeder Temperatur ein gewisses Maximum der Concentration, von welchem man zwar weifs, dafs es mit steigender Temperatur zunimmt, welches aber doch für jeden bestimmten Körper und für jede Temperatur nur experimentell bestimmt werden kann.

Als practische Regel für Berechnungen über Dämpfe oder Gemenge von Dämpfen mit Gasen ergiebt sich hiernach, dafs man dabei die Dämpfe zuerst als dem Mariotte'schen und Gay-Lussac'schen Gesetz unterworfen betrachten kann, dafs also alle oben entwickelten Formeln auf sie anwendbar sind, dafs man jedoch schliefslich nachzusehen hat, ob die Concentration jedes Dampfes nicht etwa das der gegebenen Temperatur entsprechende Maximum überschreitet. Ist diefs der Fall, so sind die Formeln ungültig, weil die in ihnen gemachten Voraussetzungen sich nicht realisiren lassen.

Ich brauche nicht darauf aufmerksam zu machen, dafs der Begriff der Concentration im Allgemeinen kein neuer ist, dafs man denselben vielmehr bei Flüssigkeiten, die mit Wasser gemengt sind, ungefähr in gleichem Sinne zu gebrauchen pflegt, wie ich es für die Luftarten vorgeschlagen habe. Ich nenne die Uebereinstimmung nur eine ungefähre, weil man die Concentration von Flüssigkeiten meines Wissens nie mathematisch definirt hat. Die Concentration einer Flüssigkeit nimmt, wenn Temperatur und Druck ungeändert bleiben, desto mehr ab, je mehr Wasser man derselben beimengt. Bei einer Luftart ist es ebenso; ihre Concentration wird immer geringer, je mehr man ihr, während Temperatur und Druck ungeändert bleiben, von heterogenen Luftarten beimengt.

Man kann sich vorstellen, dafs ich wohl nach einem Experiment gesucht habe, welches geeignet wäre, zwischen

der Dalton'schen Theorie und der meinigen endgültig zu entscheiden. Aber ein solcher Versuch ist schwer ausfindig zu machen, weil man nicht weiſs, welche Modificationen an der Dalton'schen Theorie die Anhänger derselben, das heiſst also auch die Anhänger der Lehre von Partialdrucken, welche mit der Dalton'schen Theorie zusammen steht und fällt, vornehmen wollen, da es jedem derselben durchaus bekannt ist, daſs zwei mit einander in Berührung stehende heterogene Gase oft erst nach geraumer Zeit sich vollständig mit einander mengen. Es kommt mir übrigens so vor, als wenn die Anhänger der Dalton'schen Theorie behaupten müſsten, daſs ein Dampf nur durch den Druck eines festen oder flüssigen Körpers, nicht aber durch den Druck eines Gases, condensirt oder in eine Flüssigkeit verwandelt werden könne. Nach meiner Auffassungsweise würde dieser Satz unrichtig seyn. Denn es geht aus derselben hervor, daſs ein Dampf stets condensirt werden muſs, sobald seine Concentration das seiner Temperatur entsprechende Maximum überschreitet. Ein Dampf braucht übrigens durchaus nicht an jeder Stelle ein und desselben Gefäſses ein und dieselbe Concentration zu haben, da ja die vollständige Diffusion eines Dampfes durchaus nicht augenblicklich erfolgt.

Wäre nun meine Vermuthung über die Ansichten der Daltonianer richtig, so müſste sich, wie mir scheint, ein entscheidender Versuch nach der Art des oben angeführten Bunsen'schen Experiments mit unterchlorichter Säure und Luft anstellen lassen. Man müſste nur die Luft nicht auspumpen, sondern etwa vermittelst eines luftdicht schlieſsenden Stempels zusammendrücken. Einige Verengungen innerhalb des die unterchlorichte Säure enthaltenden Röhrentheils würden dienlich seyn, um die Vermengung der beiden Luftarten zu verlangsamen. Nach meiner Meinung würde sich bei diesem Versuche die unterchlorichte Säure in Folge des durch die Luft ausgeübten Druckes ebenso condensiren, wie in Folge des durch einen Stempel unmittelbar ausgeübten Druckes. Es wäre übrigens bei dem be-

schriebenen Versuche vielleicht eine Explosion der unterchlorichten Säure zu befürchten. Es möchte sich deshalb empfehlen, an Stelle des genannten Dampfes einen anderen anzuwenden.

Darin werden wohl die Daltonianer mit mir übereinstimmen, dafs es bei der Condensation einer Luftart nicht auf den Druck, sondern einzig auf den Partialdruck, nach meiner Ausdrucksweise auf die Concentration der betreffenden Luftart ankommen kann. Wenn etwa in einem Gefäfse Chlorgas enthalten wäre, und wenn man den Druck innerhalb des Gefäfses durch Einpumpen von Luft beliebig vergröfserte, so jedoch, dafs Chlorgas und Luft immer vollständig mit einander gemengt wären, so würde keine Condensation des Chlorgases erfolgen.

Ich komme schliefslich noch mit Einigem auf mein oben erwähntes Lehrbuch der Chemie zurück. Den einsichtigen Leser wird es nicht befremden, wenn das, was ich in meinem Buche über die Concentration der Luftarten gesagt habe, in einigen Kleinigkeiten mit dem hier Vorgetragenen nicht übereinstimmt. Die geringfügigen Unterschiede, die ich meine, erklären sich leicht aus der Absicht einer möglichst elementaren Darstellungsweise, die ich für mein Buch als nothwendig betrachtete. So ist dort die Concentration einer Luftart als »Dichtigkeit einer als rein gedachten Luftart, gemessen durch die Dichtigkeit derselben unter 28 Zoll Druck« definirt. Ich erläutere nämlich den Begriff der Concentration zuerst nicht an Dämpfen, sondern nur an Gasen, und bei diesen fällt die ideelle Dichtigkeit mit der wirklichen zusammen. Bei der weiterhin folgenden Besprechung der Concentration von Dämpfen füge ich hinzu, dafs unter der als Maafs dienenden Dichtigkeit immer die nach meinen früher beschriebenen Methoden berechnete Dichtigkeit zu verstehen sey. Von dem Ausdruck »ideelle Dichtigkeit« mache ich deshalb in meinem Buche gar keinen Gebrauch. Sobald es aber auf eine streng wissenschaftliche und rechnende Behandlung der Sache ankommt, scheint mir die Einführung allerdings wünschenswerth. Wenn ich

ferner in meinem Buche bei der messenden Dichtigkeit die Temperatur der betreffenden Luftart nicht erwähne, so ist daraus offenbar zu entnehmen, dafs die Temperatur der messenden Luftart der der gemessenen gleich seyn soll.

Ich habe in meinem Buche auch den Satz ausgesprochen: »Jeder chemische Körper kann im luftförmigen Zustande bei irgend einer Temperatur eine um so gröfsere Concentration erreichen, je weniger tief die Temperatur unter dem Siedepunkt des Körpers liegt.«

Dieser Satz, welcher ausdrückt, dafs die Curven für die Concentrationsmaxima aller Körper, vom Siedepunkt aus gerechnet, einander gleich sind, ist bekanntlich nicht ganz richtig. Seine annähernde Richtigkeit aber hielt ich für geeignet zu einer annähernden Erklärung der bekannten Nebelbildung, welche manche Flüssigkeiten und Gase zeigen, wenn sie mit feuchter Luft in Berührung kommen. Den geneigten Leser, der sich hierfür interessirt, erlaube ich mir auf mein Buch zu verweisen. Meine Auffassung dieser Erscheinung darf, wie mich bedünkt, den Vorzug beanspruchen, dafs sie neben dem Rauchen des Chlorwasserstoffgases auch das Nichtrauchen des Ammoniakgases erklärt, während nach der gewöhnlichen Auffassung zwischen den beiden genannten Gasen kein Unterschied stattfinden dürfte. So heifst es zum Beispiel in dem ausgezeichneten Lehrbuch der anorganischen Chemie von von Gorup-Besanez (Braunschweig 1862) auf Seite 197: »Die grofse Löslichkeit des Gases in Wasser ist auch der Grund seines Rauchens an der Luft. Indem nämlich das Gas in der Luft auf Wasserdampf trifft, verbindet es sich mit diesem zu sogenanntem Bläschendampf. Der Grund des Rauchens ist daher derselbe, wie bei der rauchenden Schwefel- und Salpetersäure«. Nun kann man aus den von Roscoe und W. Dittmar angestellten Beobachtungen [1]) leicht berechnen, dafs ein Maafs Wasser bei 0° C. von Chlorwasserstoffgas 502, von Ammoniakgas 1140 Maafs absorbirt, ferner bei 20° C. von Chlorwasserstoffgas 439, von

1) Fortschritte der Physik 1859 S 112.

Ammoniakgas 688 Maafs. Es scheint mir also, dafs die eben citirten Worte besser auf Ammoniak- als auf Chlorwasserstoffgas passen. Aber auf Ammoniakgas bezogen, sind sie falsch; nur auf Chlorwasserstoffgas bezogen, stimmen sie mit der Erfahrung überein.

Ich fasse den Inhalt der vorstehenden Abhandlung noch einmal mit kurzen Worten zusammen. Ich glaube nachgewiesen zu haben, dafs die Dalton'sche Lehre, nach welcher die Atome heterogener Luftarten sich gegenseitig nicht abstofsen, vor der Kritik einer gesunden Mechanik nicht zu bestehen vermag. Ist die Dalton'sche Theorie falsch, so kann die Theorie von Partialdrucken oder Partialspannungen, welche lediglich auf jene gegründet ist, nicht richtig seyn. Heterogene Luftarten, seyen sie nun permanente oder condensirbare Gase, oder seyen sie Dämpfe, verhalten sich bei ihrer Mengung nicht anders wie etwa fein pulverisirte feste Körper, wenn auch die Compressibilität der letzteren eine geringere ist als die stets nach dem Mariotte'schen und Gay-Lussac'schen Gesetze geregelte Compressibilität der Luftarten. Die hiernach leicht abzuleitende Formel für den Druck eines Gemenges von n Luftarten erscheint als eine Summe von n Gliedern, von denen jedes einer der gemengten Luftarten entspricht. Definirt man das einer Luftart entsprechende Glied als Concentration der Luftart, so ist der Druck eines Luftgemenges gleich der Summe der Concentrationen seiner Bestandtheile, und numerisch fällt der fictive Begriff der Concentration mit dem physikalisch unhaltbarem Begriffe des Partialdrucks zusammen. Die Eigenthümlichkeit der Dämpfe wird ausgedrückt durch das Gesetz, dafs jedem chemischen Körper bei jeder Temperatur ein gewisses Concentrationsmaximum zukommt.

Berlin, am 26. Februar 1864.

V. *Ueber die Verbindungen der Schwefelsäure mit chlorsalpetriger Säure, mit salpetriger und mit Untersalpeter-Säure; von* Rudolph Weber.

Die chlorsalpetrige Säure, welche bekanntlich in den bei gelindem Erwärmen von Königswasser erzeugten dampfförmigen Zersetzungsproducten desselben sich vorfindet und mit mehreren Chlormetallen [1]) direct sich vereinigt, bildet auch mit wasserfreier Schwefelsäure eine weifse, krystallinische Verbindung. Zur Darstellung derselben verfährt man einfach in folgender Weise: In einem kleinen Kölbchen mit abgeschliffenem Rande fängt man die durch Erwärmen von starkem Vitriolöl entwickelten Dämpfe der wasserfreien Schwefelsäure auf, welche, wenn man zur Kühlung des Kolbens nur kaltes Wasser, nicht eine Frostmischung anwendet, als Flüssigkeit sich condensirt, nach einiger Zeit erst erstarrt und eine bekanntlich dem Asbest äufserlich ähnliche Masse bildet. In das die wasserfreie, entweder flüssige oder festgewordene Säure enthaltende Kölbchen läfst man unter möglichst vollständigen Ausschlufs von Feuchtigkeit die durch Chlorcalcium entwässerten Dämpfe der chlorsalpetrigen Säure treten; man führt das Zuleitungsrohr durch eine Oeffnung in der Glasplatte, die man auf den Rand des Kolbenhalses gelegt hat, und kühlt den Kolben von Aufsen ab. Unter heftiger Wärmeentwickelung erfolgt die Absorption der gelben Dämpfe durch die Schwefelsäure, die Bildung einer Verbindung von Schwefelsäure mit chlorsalpetriger Säure findet statt und das durch die bei dem Processe entbundene Wärme zum grofsen Theile dampfförmig gewordene Product condensirt an der erkalteten Wandung des Kolbens. Wenn die Heftigkeit der Wirkung nachgelassen hat, die Schwefelsäure zum gröfsten Theile gebunden und der Inhalt des Kolbens erkaltet ist, so wird die Masse fest und krystallinisch; sie absor-

1) Diese Ann. Bd. 118, S. 471.

birt jetzt die Dämpfe der chlorsalpetrigen Säure nicht mehr, und man mufs nun, um die noch unverbundene Schwefelsäure möglichst zu sättigen, den Kolben gelinder erwärmen, die Masse eben zum Schmelzen bringen und nun die chlorsalpetrige Säure noch längere Zeit darauf einwirken lassen. Der Procefs ist beendigt, wenn gelbrothe Dämpfe über dem geschmolzenen Inhalte des Kolbens sich erhalten.

Die auf diese Weise erzeugte Verbindung ist weifs, sie ist blättrig krystallisch und erinnert durch ihre Gefüge an Stearinsäure. Bei gelindem Erwärmen schmilzt sie unzersetzt, bei stärkerem Erhitzen färbt sie sich gelb, beginnt zu sieden, entbindet rothgelbe Dämpfe; und zersetzt sich bei der Destillation, regenerirt sich aber wieder zum Theil in der Vorlage. An der Luft wird sie bald feucht; mit einer gröfseren Menge von Wasser in Berührung gebracht zersetzt sie sich heftig unter Bildung von Schwefelsäure, Chlorwasserstoff, Stickoxydgas etc.

Die Analyse dieser Verbindung bietet keine Schwierigkeiten dar. Um zunächst den Gehalt an Chlor und an Schwefelsäure zu ermitteln, wurde die in einem Gläschen mit Stöpsel abgewogene Substanz in Wasser gebracht; es wurde aus der erhaltenen Lösung die Salzsäure durch salpetersaures Silberoxyd und sodann nach Beseitigung des überschüssig zugesetzten Silbersalzes die Schwefelsäure durch Chlorbaryum gefällt. Hierbei ergaben sich folgenden Zahlenwerthe:

Substanz.	Chlorsilber.	Schwefels. Baryt.
2,863	2,532	4,702
3,130	2,745	5,236

woraus der Gehalt an Chlor und Schwefelsäure auf 100 Theile der Verbindung sich berechnet:

Chlor	22,04	21,60
Schwefelsäure	56,45	57,49.

Die Zusammensetzung der in Rede stehenden Verbindung ist hiernach durch die Formel:

$$2SO_3 + NO_2.Cl$$

ausgedrückt, nach der der Gehalt an jenen Körpern sich berechnet auf:

Chlor	24,32 Proc.
Schwefelsäure	55,04 Proc.

Die Abweichung der gefundenen Werthe von dem nach dieser Formel berechneten erklärt sich dadurch, dafs die letzten Antheile der von der Verbindung eingeschlossenen freien Schwefelsäure nur schwierig und langsam mit der chlorsalpetrigen Säure sich vereinigen und daher leicht ein kleiner Rest derselben unverbunden bleibt. Ferner kann man füglich nicht vollständig verhindern, dafs die Verbindung bei ihrer Darstellung geringe Mengen von Wasser aufnimmt.

Für die Bestätigung der angeführten Formel ist dann noch die Bestimmung der Menge von Eisenoxydul durchgeführt worden, welche mit einer gewissen Quantität dieser Verbindung in Berührung gebracht, in Eisenoxyd umgewandelt wird. Es folgt aus dieser Bestimmung nämlich der Gehalt derselben an Sauerstoff oder an Chlor, welcher an das Eisenoxydul übertragbar, und also noch aufser den zwei im Stickoxyde vorhandenen Aequivalenten von Sauerstoff an den in der Verbindung enthaltenen Stickstoff gebunden ist. Für diesen Zweck wurde dasselbe Verfahren, nach welchem die Ermittelung des an Eisenoxydul übertragbaren Sauerstoffs in den Bleikammerkrystallen [1]) stattgefunden hat, eingeschlagen und in folgender Weise operirt: In einer Kochflasche wurde, nachdem die Luft durch Kohlensäure verdrängt worden, die drei- bis vierfache Menge der angewendeten Substanz an Eisenvitriol (mit Alkohol aus wäfsriger Lösung gefällt) mit verdünnter Schwefelsäure unter Zusatz von Salzsäure aufgelöst, in diese Lösung dann die in einem engen Glasröhrchen abgewogene Substanz gebracht und der Kolben vermittelst eines mit einem Gaszuleitungsrohr versehenen Stöpsel verschlossen. Die Verbindung zersetzt sich alsbald, die Lösung des Eisensalzes färbt sich, da sie den gröfsten Theil des entwik-

1) Bericht d. Berl. Akad. vom 13. Febr 1862.

kelten Stickoxydes aufnimmt, tief dunkel. Der Kolben wird, nachdem die Zersetzung erfolgt ist, gelinde erwärmt, wobei die sich ausdehnenden und entbundenen Gase entweichen, jedoch von Aufsen Luft in den Kolben nicht eindringen kann. Das Zuleitungsrohr wird mit einem Kohlensäureapparate verbunden und nun unter beständiger Zuführung dieses Gases die Flüssigkeit gekocht, bis das Stickoxydgas völlig entfernt worden ist, wozu die Färbung der Lösung einen Anhalt giebt. Nun wird der Inhalt des Kolbens in Wasser, das mit Schwefelsäure angesäuert worden, gebracht und die Menge des durch die Verbindung nicht oxydirten Eisenvitriols mit übermangansaurem Kali titrirt. Diese Methode liefert bei einiger Uebung sichere Resultate; sie ergab für die Menge des in der mit der Schwefelsäure verbundenen chlorsalpetrigen Säure enthaltenen, die Oxydation des Eisenvitriols bewirkenden Chlors (wofür im Nachstehenden die aequivalente Menge von Sauerstoff mitgetheilt ist) folgende Werthe:

Substanz	übertragener Sauerstoff.		
3,006	0,157	oder	5,2 Proc.
2,592	1,480	»	5,6 »

Die angeführte Formel erfordert 5,5 Proc. Hieraus erhellet, dafs die Verbindung chlorsalpetrige Säure und nicht etwa Chloruntersalpetersäure enthält, denn es hätte in diesem Falle die doppelte Menge von Eisenvitriol zu Oxydsalz durch die gleiche Menge der Verbindung oxydirt werden müssen.

Mit Wasser zersetzt sich, wie oben bemerkt, die Verbindung unter heftiger Gasentbindung. Es entweicht Stickoxydgas. Sogar schon das Hydratwasser der englischen Schwefelsäure bewirkt diese Zersetzung. Wenn man die Verbindung mit reiner destillirter Schwefelsäure SO_3 HO übergiefst, so löst sie sich darin nicht unzersetzt auf, sondern es entweicht Chlorwasserstoffgas und es destillirt beim Erhitzen eine Flüssigkeit, welche der Hauptsache nach aus der von Williamson [1]) entdeckten Verbindung von Schwe-

1) Erdmann's Journal Bd. 62, S. 377.

felsäure mit Chlorwasserstoff $2SO_3 + HCl$ besteht. Setzt man das Erhitzen des Gemisches einige Zeit fort, so wird, besonders wenn man ein offenes Schälchen dazu anwendet, das Chlor leicht ganz beseitigt, und die zurückbleibende Flüssigkeit enthält nur Schwefelsäure und salpetrige Säure, reagirt aber nicht mehr auf Salzsäure.

In dem aus wasserfreier und aus englischer Schwefelsäure gemischten Hydrate von der Formel $2SO_3 HO$ löst sich dem Anscheine nach die Verbindung unzersetzt auf; dasselbe Hydrat absorbirt auch die Dämpfe der chlorsalpetrigen Säure reichlich und es bildet sich eine gelbrothe, ölige Flüssigkeit, aus der aber selbst nach längerem Stehen Krystalle sich nicht aussondern. Hiernach ist es nicht wahrscheinlich, dafs ein krystallisirtes Hydrat der oben beschriebenen Verbindung, welches das Analogon der Bleikammerkrystalle seyn würde, sich wird darstellen lassen.

Es wurden ferner die Producte untersucht, welche sich bei der Einwirkung der durch Erhitzen von salpetersaurem Bleioxyd entwickelten Dämpfe auf wasserfreie Schwefelsäure erzeugen. Die bezüglich dieses Gegenstandes von dem Verfasser früher gemachte kurze Mittheilung ist durch Folgendes zu ergänzen.

Wenn man auf wasserfreie Schwefelsäure, welche in einem Kölbchen aufgefangen ist, die durch Erhitzen des Bleisalzes entbundenen Dämpfe treten läfst, so werden dieselben unter starker Erwärmung von der Säure aufgenommen, und es bildet sich eine ölige, gelbliche Flüssigkeit, welche beim Erkalten weifse, krystallinische Krusten bildet. Um die Producte möglichst rein zu erhalten, erwärmt man, wenn der gröfste Theil der Untersalpetersäure absorbirt worden ist, den Kolben gelinde, und läfst unter stetem Drehen desselben die braunen Dämpfe noch einige Zeit auf die geschmolzene Masse einwirken, um auch die von der erzeugten Verbindung eingeschlossene noch unverbundene Schwefelsäure möglichst zu sättigen. Hierauf giefst man den Inhalt des Kolbens in ein langes Reagenzglas und erhitzt die Masse zum Sieden. Es entwickelt sich dann

lebhaft Sauerstoffgas; es wird auch Untersalpetersäure entbunden, und es bilden sich die intensiv gelb gefärbten Dämpfe der nachstehend beschriebenen Verbindung, welche in dem kälteren Theile des Glases condensiren. Wenn kein Sauerstoffgas mehr entbunden wird, unterbricht man diese Operation.

Das auf diese Weise dargestellte Product ist bei erhöhter Temperatur flüssig, und gelb gefärbt. Erkaltet dasselbe, so wird es heller, es erstarrt und bildet bei gewöhnlicher Temperatur eine harte, krystallinische, weifse Masse. An der Luft wird es sehr schnell feucht; in Wasser löst es sich unter Entbindung von Stickoxydgas leicht auf, in der Lösung befinden sich Schwefelsäure und Salpetersäure.

Diese Verbindung enthält Schwefelsäure und eine Säure des Stickstoffs, und zwar salpetrige Säure, welche mit der Schwefelsäure in dem Verhältnifs vereinigt ist, dafs die Zusammensetzung der Verbindung durch die Formel

$$2SO_3 + NO_3$$

ausgedrückt wird.

Zur Ermittelung der Zusammensetzung derselben wurde der Gehalt an Schwefelsäure, sowie die Menge des an Eisenvitriol übertragbaren Sauerstoffs bestimmt. Die letzteren Ermittelungen lassen erkennen, welche der Oxydationsstufen des Stickstoffs mit der Schwefelsäure verbunden ist und geben, wie bei der Feststellung der Formel für die Bleikammerkrystalle einen sicheren, directen Anhalt über die Zusammensetzung der in der Verbindung enthaltenen Säure des Stickstoffs. Der Gehalt an Schwefelsäure wurde durch die Menge des aus der Auflösung der Substanz in Wasser mit Chlorbaryum gefällten Schwerspaths ermittelt; zur Feststellung des Sauerstoffgehalts wurde das oben beschriebene Titrirverfahren angewendet. Es ergaben:

Substanz.	schwef. Baryt.	Schwefelsäure in Procenten.
2,110	4,430	72,11 Proc.
2,300	4,870	72,72 Proc.

Die Menge des an Eisenoxydul übertragbaren Sauerstoffs (welche also aufser den zwei im Stickoxydgase ge-

bundenen Aequivalenten Sauerstoff in der Verbindung sich vorfindet) betrug:

Substanz.	Sauerstoff.	do. in Procenten.
2,082	0,149	7,1 Proc.
2,230	0,157	7,1 Proc.

Nach obiger Formel berechnen sich die Werthe des Gehalts an Schwefelsäure und an Sauerstoff auf 67,84 Proc. und 6,8 Proc.

Die durch den Versuch ermittelte Menge von Schwefelsäure ist etwas gröfser als die nach der angenommenen Formel berechnete, was darin unzweifelhaft seinen Grund hat, dafs die Verbindung etwas freie Schwefelsäure einschliefst, welche, wenn auch die Dämpfe der Untersalpetersäure auf das Product längere Zeit wirkten, dennoch eingeschlossen und unverbunden verblieben ist.

Der auf diese Weise gebildete Körper ist also eine Verbindung von Schwefelsäure mit salpetriger Säure; er hat die Beschaffenheit und die Zusammensetzung der von Provostaye [1]) dargestellten Verbindung jener Säuren, welche bei der Einwirkung von flüssiger schwefliger Säure auf Untersalpetersäure in zugeschmolzenen, stark abgekühlten Röhren, wobei, wie Provostaye angiebt, oft Detonationen erfolgen, sich erzeugt. Der oben beschriebene Weg zur Darstellung dieser Verbindung bietet diese Gefahren nicht dar, er ist einfach und kann zur Herstellung gröfserer Mengen derselben eingeschlagen werden. Dieser Körper erzeugt sich auch durch Einwirkung von Stickoxyd auf wasserfreie Schwefelsäure, wobei nach Brünig [2]), wenn atmosphärische Luft nicht Zutritt hat, schweflige Säure und die Verbindung von Schwefelsäure mit salpetriger Säure $2SO_3 + NO_3$ sich bildet.

Die Dämpfe der Untersalpetersäure werden, wie oben erwähnt, von der wasserfreien Schwefelsäure begierig absorbirt. Hierbei bildet sich eine Verbindung beider Stoffe, welche man in ziemlich reinem Zustande dadurch bereiten

1) *Ann. de phys. et chim.* T. 63, p. 362.

2) Ann. der Chem. u. Pharm. Bd. 98, S. 377.

kann, dafs man jene Dämpfe auf die Schwefelsäure direct wirken läfst, der Erhitzung durch langsames Zuleiten vorbeugt, und schliefslich, um die noch freie Schwefelsäure, welche von der erzeugten Verbindung eingeschlossen ist, möglichst zu sättigen, das Product, nachdem es bei gelinder Wärme geschmolzen, der Wirkung der untersalpetersauren Dämpfe noch einige Zeit aussetzt, eine stärkere Erhitzung aber, wodurch die Verbindung sich zersetzen würde, vermeidet.

Das hierdurch erzeugte Product hat äufserlich die Beschaffenheit der oben beschriebenen Verbindung; es ist weifs, krystallinisch, schmelzbar, zersetzt sich aber bei stärkerem Erhitzen unter Ausscheidung von Sauerstoffgas und Bildung der vorigen Verbindung. Die Analyse desselben wurde, wie oben erörtert, durchgeführt und ergab folgende Resultate:

Substanz.	schwefels. Baryt.	Schwefels. in Procenten.
1,191	2,307	66,49 Proc.
1,885	3,624	66,03 Proc.
desgl.	an Eisenoxydul übertragbaren Sauerstoff.	
2,060	0,2197	10,6 Proc.
1,967	0,2080	10,5 Proc.

Hiernach ist die Zusammensetzung dieses Körpers durch die Formel

$$2SO_3 + NO_4$$

ausdrückbar, welche erfordert:

Schwefelsäure	63,53 Proc.
Sauerstoff an Eisenoxydul übertragbar	12,7 Proc.

Wie aus der Vergleichung der gefundenen Resultate mit den berechneten erhellet, ist auch hier ein bis 3 Proc. betragender Ueberschufs an Schwefelsäure vorhanden, dessen Beseitigung vielleicht durch lange andauernde Einwirkung der Untersalpetersäure auf das Product zu erreichen ist.

Wahrscheinlich ist obiger Körper ein Gemisch von

$$2SO_3\,NO_3 \text{ und } 2SO_3\,NO_5,$$

welche letztere Verbindung der Zersetzung beim Erhitzen unterliegt, und unter Abgabe von 2O in $2SO_3 + NO_3$

übergeht. Dieselbe läfst sich vielleicht durch Wirkung von wasserfreier Salpetersäure auf Schwefelsäure direct und isolirt darstellen.

Bei dieser Gelegenheit habe ich noch einiges die Zusammensetzung der Bleikammerkrystalle Betreffendes zu erwähnen. Ich habe vor einiger Zeit eine Untersuchung dieser viel besprochenen Krystalle, über deren Zusammensetzung vorzugsweise in soweit Meinungsverschiedenheiten obwalteten, als nach Ansicht einiger Chemiker darin Untersalpetersäure, nach Ansicht anderer dagegen darin salpetrige Säure enthalten ist, durchgeführt [1]).

Das Ergebnifs der Untersuchung, wobei eine Ermittelung des mit dem Stickstoff verbundenen Sauerstoffs durch *directe* Versuche durchgeführt worden war, während bei früheren Ermittelungen diese Werthe nur aus dem Verluste bestimmt wurden und bei geringen Abweichungen in der Menge der übrigen Bestandtheile dieser leicht veränderlichen, schwierig zu analysirenden Substanz dann verschieden befunden wurden, leiteten unzweifelhaft zu der Formel

$$SO_3 NO_3 + SO_3 HO.$$

Es wurden damals Krystalle untersucht, welche durch Einwirkung von schwefliger Säure auf rauchende Salpetersäure bereitet waren, und es wurde ermittelt deren Gehalt an Schwefelsäure, Wasser, Stickstoff und Sauerstoff. Die Schwefelsäure wurde durch Baryt bestimmt; die gefundenen Werthe lagen zwischen 63,9 und 64,3 Proc. Der Wassergehalt wurde ermittelt durch Erhitzen der Krystalle mit Magnesia in einem Verbrennungsrohre, daselbst war eine 6″ lange Schicht von Kupferspähnen angebracht, um die Oxyde des Stickstoffs zu zersetzen. Das ausgeschiedene Wasser wurde mit vollkommen ausgetrockneter Luft nach dem tarirten Chlorcalciumrohre geleitet. Vier Versuche ergaben für den Wassergehalt zwischen 9,5 und 10,5 Proc. liegende Werthe. Der Gehalt an Stickstoff ist der Art bestimmt, dafs die Zersetzung der Substanz in der oben beschriebenen Weise herbeigeführt, und der Stickstoff dem

1) Bericht d. Berl. Akad. vom 13. Febr. 1862.

Volumen nach in bekannter Weise gemessen wurde. Vier Versuche ergaben dafür Werthe zwischen 10,0 und 10,3 liegend. Endlich wurde noch, und darin liegt, wie bemerkt, eben das Wesentliche der Untersuchung, die Menge des Sauerstoffs bestimmt, welche Eisenoxydul in Oxyd verwandeln kann. Wenn NO_3 in den Krystallen enthalten ist, so wird 1 O abgegeben; steckt darin aber NO_4, so werden 2 O an das Eisenoxydul übertragen, indem eine Reduction dieser Verbindungen zu NO_2 erfolgt; es müfste die doppelte Menge von Eisenvitriol dann von der gleichen Quantität der Substanz oxydirt worden seyn. Nur derartige directe Sauerstoffbestimmungen können zur Entscheidung der Frage: ob NO_3 oder NO_4 in den Krystallen enthalten ist, führen; sie waren vorher noch nicht ausgeführt. Ich fand die Menge des an Eisenvitriol übertragbaren Sauerstoffs bei vier Versuchen 5,8 bis 6,3 Proc.; die Formel $3SO_3NO_3 + SO_3HO$ erfordert 6,3 Proc.

Weltzien [1]) hatte kurz zuvor durch Meyer Versuche über die Zusammensetzung dieser Krystalle anstellen lassen, wobei der Gehalt an Schwefelsäure, an Wasser und an Stickstoff, in ähnlicher Weise wie oben erörtert, ermittelt wurde. Aus diesen Versuchen leitet er die Formel

$$8SO_3 + NO_4 + 2HO$$

für die Krystalle ab, wonach dieselben also Untersalpetersäure enthalten.

Eine Vergleichung der Versuchsresultate mit dem nach dieser Formel berechneten

	Meyer's Versuche.	Theorie.
Schwefelsäure	63,68 — 64,08	65,21
Wasser	11,17 — 13,14	9,78
Stickstoff	7,4 — 7,48	7,61

ergiebt, daſs die Versuchswerthe für das Wasser um 2 Proc. von einander abweichen und von dem Rechnungsresultate bis über 3 Proc. verschieden sind, was, da nur wenig Wasser vorhanden ist, den vierten Theil des gesammten Wassergehalts der Krystalle ausmacht. Der Stickstoffgehalt ist

1) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. 115, S. 213.

bei Anwendung von nur wenig Substanz, 0,223 — 0,466 — 0,744 Grm. ermittelt worden.

Da hier eine Ermittelung des Sauerstoffs nicht erfolgt ist, welche, wenn die Krystalle nach jener Formel zusammengesetzt wären, 8,7 Proc. hätte ergeben müssen, und auch die gefundenen Werthe an die nach der Formel $3SO_3 + NO_3 + 2HO$ berechneten sich näherungsweise anschliefsen

	gefunden	ber. nach $3SO_3\,NO_4\,2HO$	— $3SO_3\,NO_3\,2HO$.
SO_3	63,68 — 64,08	65,21	67,72
HO	11,17 — 13,14	9,78	10,23
N .	7,4 — 7,48	7,61	7,95

und die für die Schwefelsäure gefundenen Werthe von den berechneten auch nur um etwa 3 Proc. abweichen, dagegen im Wassergehalt eine etwas gröfsere Annäherung erreicht worden ist: so liefern diese Versuche keinen Beweis, dafs die Bleikammerkrystalle NO_4 und nicht NO_3 enthalten.

Eine andere Versuchsreihe hat kürzlich A. Müller [1]) angestellt und ist nach folgender Methode verfahren: Die Bleikammerkrystalle werden mit der drei- bis vierfachen Menge von Bleioxyd gemengt, wodurch schon bei gewöhnlicher Temperatur deren Zersetzung eintritt und sämmtliche Untersalpetersäure, wie er annimmt, entweicht. Die dadurch erfolgende Gewichtsveränderung soll nach Müller den Gehalt der Krystalle an Untersalpetersäure repräsentiren. Den Wassergehalt findet Müller, indem er den Gewichtsverlust des Gemenges, aus dem sämmtliche in den Krystallen enthaltene Untersalpetersäure entwichen seyn soll, ermittelt. Die Schwefelsäure ergiebt sich nach ihm aus der Differenz des letzten Gewichtes mit dem Gewichte des angewendeten Bleioxydes. Der Stickstoffgehalt ist auf 10,85 Proc. direct ermittelt worden. Aus diesen Bestimmungen soll nun für die Bleikammerkrystalle die Formel

$$2SO_3 + NO_4\,HO$$

folgen.

Ich würde ein solches Versuchsverfahren hier keiner

1) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. 122, S. 1.

Kritik unterworfen haben, wenn nicht R. Wagener in seinem vortrefflichen Jahresberichte Bd. 8, S. 208, wo über die Untersuchungen von Müller und von mir Bericht erstattet ist, es als wünschenswerth bezeichnet hätte, dafs neue Untersuchungen über diesen Gegenstand gemacht würden, um zu prüfen, ob vielleicht Verbindungen von verschiedener Zusammensetzung existiren, oder ob die Verschiedenheit der Versuchs-Resultate in der Methode der Analyse begründet ist.

Zunächst bemerke ich in Betreff der Müller'schen Methode die Schwefelsäure durch Erhitzen des Gemenges der Krystalle mit Bleioxyd zu bestimmen, dafs, wie man leicht findet, sobald man mit derselben Substanz Gegenversuche mit Baryt anstellt, stets etwas Schwefelsäure beim Erhitzen entweicht, wenn nicht das Gemenge sehr innig gemacht und Bleioxyd in grofsem Ueberschufs angewendet wird. Daher erklärt sich leicht der zu gering befundene Gehalt an Schwefelsäure, 59,3 statt 64 Proc. (Welzien, Weber). Was nun Müllers Verfahren die Untersalpetersäure zu bestimmen, anlangt, so bemerke ich nur, dafs derselbe auf S. 18 der allegirten Abhandlung angiebt, aus Untersalpetersäure und aus Bleioxyd bilde sich salpetersaures und salpetrigsaures Salz; und doch braucht er das Bleioxyd zur Zersetzung der Bleikammerkrystalle und unterstellt, dafs sämmtliche Untersalpetersäure entweicht! — Füllt man eine Retorte mit Untersalpetersäuredampf, bringt Bleioxyd (Bleiglätte) hinzu, schmilzt oben ab, so vermindert sich sehr bald die Farbenintensität des gasförmigen Retorteninhalts. Ob Versuche nach derartigen Methoden angestellt, Vertrauen verdienen, mufs ich der Beurtheilung der Leser anheimstellen. — Wäre obige Formel richtig, so müfste auch NO_4 mit dem Hydrate $2SO_3 HO$ zusammengebracht, ohne Bildung von Mutterlauge, die Krystalle erzeugen, was nicht der Fall ist.

Bezüglich der zweiten Frage bemerke ich Folgendes: In den Bleikammern bilden sich die Krystalle bekanntlich, wenn schweflige Säure mit den höheren Oxydationsstufen des Stickstoffs und mit der geeigneten Menge Wasser zu-

sammentritt, oder was im Wesentlichen auf dasselbe hinauskommt, wenn die aus der schwefligen Säure und der Salpetersäure erzeugte Schwefelsäure bei Gegenwart von wenig Wasser mit der hierbei entwickelten Untersalpetersäure zusammentrifft.

Zur Darstellung der Krystalle im Kleinen verfährt man zweckmäfsig der Art, dafs man schweflige Säure auf Salpetersäure wirken läfst, oder man erzeugt dieselben direct durch Wirkung der Untersalpetersäure auf concentrirte Schwefelsäure. Nach der zweiten Methode haben Welzien und Müller die Krystalle dargestellt; die von mir früher untersuchten waren nach der ersten Methode dargestellt.

Da nun die Vermuthung nicht fern liegt, dafs die mittelst Untersalpetersäure dargestellten Krystalle Untersalpetersäure und nicht salpetrige Säure enthalten, also verschieden von den durch Wirkung von schwefliger Säure auf Salpetersäure bereiteten Krystallen zusammengesetzt sind, so habe ich die nach ersterem Verfahren bereiteten (wie früher durch Ausbreitung auf einem Ziegelsteine unter dem Exsiccator von der imbibirten Säure befreiten) Krystalle gleichfalls untersucht, habe darin den Gehalt an Schwefelsäure und an Sauerstoff bestimmt.

Es ergab:

Substanz.	schwefels Baryt.	Schwefelsäure in Procenten.
1,057	1,967	63,91.

Eine frühere derartige Bestimmung hat ergeben [1]).

1,646	3,120	65,1 Proc.

Der Schwefelsäure-Gehalt der nach dem andern Verfahren bereiteten Krystalle war 63,9 — 64,3 Proc.

Der an Eisenvitriol übertragbare Sauerstoff betrug in den mit Untersalpetersäure und englischer Schwefelsäure bereiteten Krystallen:

Substanz.	übertragbarer Sauerstoff.	
1,490	0,0780	5,2 Proc.
1,500	0,0848	5,6 »
1,424	0,0819	5,7 »

1) Bericht der Akad. v. 13 Febr. 1862.

Die Wiederholung der Sauerstoffbestimmung, der mit rauchender Salpetersäure und schwefliger Säure bereiteten Krystalle ergab;

Substanz.	übertragbarer	Sauerstoff.
1,584	0,0814	5,1 Proc.
1,925	0,1022	5,3 »

also Werthe, welche mit den früheren und mit denen übereinkommen, welche für den übertragbaren Sauerstoffgehalt der nach dem anderen Verfahren bereiteten Krystalle gefunden ist. Wären die Bleikammer-Krystalle nach der Müller'schen Formel zusammengesetzt, so hätten sich 11,8 Proc. Sauerstoff finden müssen.

Dafs die benutzte Methode der Sauerstoffbestimmungen für diese Fälle brauchbar ist, dafür bürgt die früher schon nach dieser Methode von mir ausgeführte Untersuchung des salpetrigsauren Silberoxyds, die Uebereinstimmung der Versuchsreihen, sowie auch das Resultat, welches sich bei der Untersuchung der Verbindungen der wasserfreien Schwefelsäure mit salpetriger Säure und mit Untersalpetersäure ergeben hat.

Die Zusammensetzung der nach verschiedenen Methoden bereiteten Bleikammer-Krystalle ist durch die Formel:

$$SO_3NO_3 + SO_3HO$$

ausgedrückt; die gefundenen Werthe und die nach dieser Formel berechneten sind folgende:

		berechnet.		gefunden.	
	SO_3	63,01	Proc.	63,9 — 64,0	Proc.
	HO	7,06	»	9,5 — 10,5	»
	N	11,03	»	10,0 — 10,3	»
an FeO übertragb.	O	6,30	»	5,2 — 6,3	»

VI. *Ueber die Verbindungen der chlorsalpetrigen Säure mit einigen flüchtigen Chlormetallen,* *von Rudolph Weber.*

Durch directe Einwirkung der chlorsalpetrigen Säure auf die flüchtigen Chloride von Zinn, Titan, Aluminium und Eisen bilden sich krystallinische Verbindungen jener Körper, über deren Darstellung, Eigenschaften und Zusammensetzung der Verfasser bereits früher Mittheilungen gemacht hat [1]).

Es ist dem Verfasser jetzt gelungen eine Verbindung der chlorsalpetrigen Säure mit fünffach Chlorantimon hervorzubringen. Dieselbe bildet sich ebenfalls direct. Um dieselbe darzustellen leitet man die durch gelindes Erwärmen vom Königswasser erzeugten Dämpfe in ein Kölbchen, welches das flüchtige Chlorid enthält. Die Dämpfe der chlorsalpetrigen Säure werden begierig absorbirt, indem dabei ein gelber, pulveriger Körper sich bildet, der sehr leicht und locker ist und im Aeufseren eine täuschende Aehnlichkeit mit Schwefelblumen hat. Man mufs um die letzten Mengen des Chlormetalls zu sättigen, die Wirkung der Dämpfe auf das Pulver noch einige Zeit andauern lassen. Die so erzeugte reine Verbindung bildet ein schwefelgelbes Pulver. Diesselbe wird an der Luft sehr rasch feucht, sie zersetzt sich mit Wasser, löst sich in Weinsteinsäure enthaltendem Wasser klar auf. Beim Erhitzen schmilzt sie nicht, verdampft aber unter Rücklassung von etwas Antimonsäure und condensirt an den kälteren Theilen des Destillirapparates zu einer öligen Flüssigkeit, welche nach vollständigem Erkalten krystallinisch erstarrt.

Die Zusammensetzung wurde ermittelt indem aus der Auflösung einer in ein Glasröhrchen abgewogenen Menge dieser Verbindung in Weinsteinsäure enthaltendem Wasser

1) Bericht der Berl. Akad. vom 5. März 1863. Pogg. Ann. Bd. 118 S. 471.

zuerst das Antimon durch Schwefelwasserstoff und nach Beseitigung des Ueberschusses dieses Gases das Chlor durch Silberlösung gefällt wurde. Der Antimonniederschlag wurde auf einem gewogenen Filter bei 110° getrocknet und in bekannter Weise der Schwefelgehalt in demselben ermittelt, wodurch der Gehalt an Antimon sich ergab.

Folgendes sind die ermittelten Werthe:

Substanz.	Chlorsilber.	Schwefelantimon.
1,688	3,950	1,050
1,642	3,860	1,026

Das Schwefelantimon (mit rauchender Salpetersäure oxydirt, die Schwefelsäure durch Baryt gefällt) enthielt 0,517 und 0,505 Schwefel. Aus diesen Daten berechnet sich der Gehalt an Chlor und an Antimon auf 100 Theile dieser Verbindnng:

Chlor	57,61 — 58,00 Proc.
Antimon	31,57 — 31,60 »

Hiernach ist dieselbe nach der einfachen Formel:

$$SbCl_5 + NO_2Cl$$

zusammengesetzt, nach der der Gehalt an Chlor und an Antimon sich berechnet auf

Chlor	58,63 Proc.
Antimon	33,07 »

Mit der Untersuchung der Verbindungen der chlorsalpetrigen Säure mit Zinn- und Titanchlorid hat sich auch W. Hampe beschäftigt und in dem, den 11 April v. J. ausgegeben Hefte der Annalen der Chemie und Pharmacie Bd. 126, S. 43, also über einen Monat nach Publication meiner Arbeit, siehe den Bericht d. Berl. Akad, v. 5. März v. J., seine Versuche hierüber mitgetheilt. Derselbe erzeugte diese Verbindungen, indem er das durch Einwirkung der Untersalpetersäure auf diese Chloride erzeugte Product, welches ich als näherungsweise nach der Formel $SnCl_2 + NO_3$ zusammengesetzt fand, der Destillation unterwarf. Das erhaltene Sublimat, bildete gelbe krystallinische Krusten; er fand es nach der Formel:

$$3\,SnCl_2 + 2\,NO_2\,Cl$$
$$3\,TiCl_2 + 2\,NO_2\,Cl$$

zusammengesetzt, während ich dafür die einfachen Formeln

$$SnCl_2 + NO_2\,Cl$$
$$TiCl_2 + NO_2\,Cl$$

aus meinen Versuchen ableitete, welche auch für die betreffende Eisen- und Aluminium- sowie auch für die Antimon-Verbindung, nämlich gleiche Anzahl der Aequivalente der Chlorverbindungen, Anwendung finden. Die Versuchsresultate der Zinnverbindung weichen folgendermafsen von einander ab:

	Hampe	Weber
Zinn	33,61	29,4 — 30,4
Chlor	54,34	53,3 — 53,6

Ich habe meine Versuche zum Theil wiederholt, habe auf Zinnchlorid sorgfältig getrocknete chlorsalpetrige Säure wirken lassen und habe zur Beseitigung der letzten Menge des Zinnchlorids, die von der erzeugten Verbindung so leicht eingeschlossen wird, nachdem die Masse in den Gefäfsen, wo sie erzeugt wurde, möglichst rasch zerdrückt worden und das Glas etwas erwärmt worden ist, noch eine Weile die Dämpfe der chlorsalpetrigen Säure hinzugeleitet. Die Masse wird erst hierdurch von den letzten Mengen des eingeschlossenen Zinnchlorids befreit.

Der nach dieser Vorschrift bereitete Körper hat die früher beschriebenen Eigenschaften. Die Analyse wurde nochmals ausgeführt und ergab:

Substanz.	Chlorsilber.	Zinnoxyd.
1,527	3,350	0,594
1,805	3,985	0,705

wonach der Gehalt an Chlor und an Zinn sich berechnet:

Chlor	54,2 — 54,5
Zinn	30,6 — 30,7

also Werthe, welche mit meinen früheren Ermittelungen übereinstimmen.

Ich kann daher nur dabei stehen bleiben, dafs man bei Einwirkung von chlorsalpetriger Säure auf Zinnchlorid, wo-

bei man die entstehende Verbindung leicht im reinen Zustande erhält, einen Körper bekommt, welcher nach der Formel:

$$SnCl_2 + NO_2Cl$$

zusammengesetzt ist. — Analoge Formeln:

$$TiCl_2 + NO_2Cl$$
$$Al_2Cl_3 + NO_2Cl$$
$$Fe_2Cl_3 + NO_2Cl$$
$$SbCl_5 + NO_2Cl$$

drücken die Zusammensetzung der auf diesem Wege dargestellten Verbindungen der chlorsalpetrigen Säure mit den erwähnten Chlormetallen aus.

VII. *Ueber die Bildung des Ammoniums und einiger Ammoniummetalle; von W. Weyl*[1]).

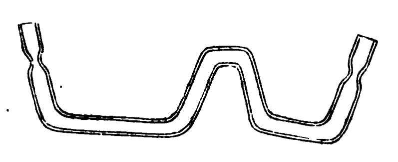
Die Resultate einer Untersuchung wie sie in d. Annalen Bd. 121 S. 601 über die Bildung des Kalium- und Natrium-Ammoniums mitgetheilt sind, liefsen es als möglich erscheinen, die übrigen Ammoniummetalle, so wie das Wasserstoffammonium, d. h. die Gruppe NH_3H selbst, auf gleichem oder doch analogem Wege zu erhalten.

Es wurde zunächst das Verhalten des flüssigen Ammoniaks gegen Quecksilber und Zink untersucht; doch konnte selbst nach Tage langer Berührung desselben mit den genannten Metallen eine Veränderung dieser letzteren nicht beobachtet werden. Es schien das Zink, vielleicht nur durch Flächenanziehung, geringe Mengen Ammoniak aufgenommen zu haben, die beim Oeffnen der Röhre rasch entwichen. Zu durchaus entscheidenden Resultaten führten die Versuche, nachdem die Bedingungen, unter denen sie angestellt

1) Vorstehende Arbeit ist ausgeführt im Laboratorium des Königl. Gewerbeinstitutes zu Berlin.

wurden, in der Weise abgeändert waren, dafs Ammoniak und das jedesmal anzufügende Metall im *status nascens* zusammentreten konnten. Es wurde diefs ermöglicht durch die Eigenschaft des Natrium-Ammoniums, sich mit Metalloxydsalzen, unter Bildung des entsprechenden Natronsalzes, zu ersetzen, wodurch auf der einen Seite Ammoniak, auf der andern Metall frei wird, und so die zur Bildung des entsprechenden Ammoniums geforderten Bedingungen gegeben sind.

Das bei diesen Versuchen innegehaltene Verfahren lehnt sich im Wesentlichen an das bei der Darstellung des Kalium- und Natrium-Ammoniums befolgte an.



Zunächst wurde in den einen Schenkel einer Röhre von nebenstehender Form Chorsilber eingefüllt und mit trocknem Ammoniakgas gesättigt, was schnell und vollständig erzielt wird, wenn das Gas unter dem Druck einer Quecksilbersäule von einigen Zollen überströmt. In den zweiten Schenkel der Röhre wurde die Sauerstoff- oder Chlorverbindung eines Metalles mit der aequivalenten Menge Natrium eingeführt, und die Röhre selbst an beiden Enden geschlossen. Wenn nun die so vorbereiteten Röhren mit ihrem Chlorsilberschenkel in ein siedendes Chlorcalciumbad eingesenkt wurden, so war bei allen Versuchen zu beobachten, dafs zunächst das Ammoniak auf die Chlor- oder Sauerstoffverbindung des in dem anderen Schenkel befindlichen Metalls einwirkte, diese gleichsam sättigte, und dann erst an das Natrium trat, zur Bildung von Natrium-Ammonium, welches über das Metallsalz hinfliefsend, im Verlauf von ein bis zwei Stunden die besprochene Umsetzung ohne merkliche Temperaturerhöhung bewirkte.

Die vor der Bildung des Natriumammoniums durch das Metallsalz bewirkte Absorption des Ammoniaks ist begründet in der unter dem hohen Druck erfolgenden Verbindung dieses mit jenem zu dem correspondirenden Ammo-

niumoxydsalz oder Chlorammonium. Es gestaltet sich demnach der oben besprochene Procefs complicirter als daselbst angedeutet; zumal auch nicht, wie dort angenommen, neben dem allerdings resultirenden Metallammonium, Chlornatrium oder ein Natronsalz, sondern ebenfalls dessen Ammonium als Endpunkt auftritt, wie dieses folgendes Schema in übersichtlicher Form zeigt.

$$\left.\begin{matrix} Na \\ NH_3 \\ Na \\ NH_3 \end{matrix}\right\} + 2 \left\{\begin{matrix} Ba \\ NH_3 \\ Cl \end{matrix}\right. = \left.\begin{matrix} Ba \\ NH_3 \\ Ba \\ NH_3 \end{matrix}\right\} + 2 \left\{\begin{matrix} Na \\ NH_3 \\ Cl \end{matrix}\right.$$

Zur Rechtfertigung der in diesen Formeln vorgenommenen Verdopplung des Ammoniums bemerke ich, dafs, abgesehen von den durch die Analogie zwischen ihm und den übrigen Metallen an die Hand gegebenen Gründen, doch gerade hier, wo man auf synthetischem Wege die zusammengesetzte Natur eines Metalles kennen lernt, die dabei gewonnene Kenntnifs von der Organisation desselben einen, wie mir scheint, entscheidenden Grund zur Verdoppelung seiner Formel in sofern angiebt, als bei der fünfbasischen Natur des Stickstoffs die durch die Bildung eines Ammoniums ungesättigte letzte Basicität nur ins Gleichgewicht tritt bei der Verdopplung der Formel zur entsprechenden fünften Basicität eines zweiten Ammoniummolecüls; so dafs also erst durch die Verbindung zweier als einbasisch erscheinenden Molecüle, für deren einbasische Natur der Grund hier sich absehen läfst, die Bedingungen zum selbstständigen Bestehen des Ammoniums erfüllt sind.

Auf dem hier beschriebenen Wege versuchte ich die Ammoniummetalle zu Barium, Zink, Kupfer, Quecksilber und Silber darzustellen. Es zeigten diese sämmtlich, mit Ausnahme des Bariums, ein von den Ammoniummetallen der Alkalien in sofern wesentlich verschiedenes Verhalten, dafs sie, wenn einmal in Ammonniak und Metall zerfallen, sich nicht mehr regeneriren liefsen; auch schieden sich diese Metalle nicht, wie Kalium und Natrium, mit metallisch glänzender Oberfläche aus, sondern blieben jedesmal als matte,

lose zusammenhängende Massen, mit schwarzgrauer Farbe zurück. Bei Barium, Kupfer, Quecksilber und Silber dienten die Chlorverbindungen zur Bildung ihrer Ammoniummetalle. Ich theile hier von einigen der vielfach angestellten Versuchen Zahlen mit, um eine bestimmte Vorstellung von den bei denselben angewandten Mengen zu geben. Es wurden verwandt Chlorbarium 0,520 Grm., Chlorkupfer 0,570 Grm. Chlorsilber 1,40 Grm. mit bezüglich einem Aequivalent Natrium. Um sicher zu seyn, dafs nach Beendigung des Processes, nicht etwa noch unzersetztes Natrium-Ammonium die Eigenschaften der bezweckten Ammoniummetalle trübte, wurde etwas weniger Natrium, als die Rechnung erforderte, in die Röhre eingeführt. Das Zink-Ammonium erhielt ich durch Einwirkung von Natrium-Ammonium auf Zinkoxyd; hierbei absorbirte dasselbe, wie die vorgenannten Chlormetalle, eine grofse Menge Ammoniak, noch bevor sich Natrium-Ammonium bilden konnte; doch trat die Wirkung dieses auf das Zink-Ammoniumoxyd in gleicher Weise, wie bei obigen Chlormetallen schnell und leicht ein. Jene der Bildung des Natrium-Ammoniums vorangehende Absorption des Ammoniaks erfolgt, namentlich bei Chlorkupfer und Chlorsilber, in so hohem Maafse, dafs ein förmliches Zusammensintern der vorher pulverförmigen Körper zu festen compacten Massen, ja sogar theilweise Auflösung dieser in dem flüssigen Ammoniak eintritt.

Um nun die Einwirkung des von jetzt ab sich bildenden Natrium-Ammoniums auf jene ersteren zu beschleunigen, ist es zweckmäfsig, durch Schütteln der Röhre eine möglichst gleichmäfsige Vertheilung des flüssigen Natrium-Ammoniums über die Chlormetalle hin zu bewirken. Bei der nun, wie schon erwähnt, ohne Temperaturerhöhung eintretenden Umsetzung zwischen diesen und jenem, ist zunächst zu beobachten, wie die Farbe des Natriums-Ammoniums vom Kupferrothen in das Rubin- und Purpurrothe übergeht, unter steter Beibehaltung eines starken Metallglanzes; Farben, die wohl einer Legirung von dem noch unzersetzten Theile des Natrium-Ammoniums mit dem zum

Theil schon gebildeten zweiten Ammoniummetalle angehören.

Es tritt dieser glänzende Farbenübergang besonders schön bei der Bildung des Barium-Ammoniums auf. In dem Maafse jedoch die Bildung der bezweckten Ammoniummetalle fortschreitet, fällt die Farbe der Legirung immer mehr ins Blaue, bis zuletzt, bei völlig erfolgter Umsetzung, ein tief blaues, stark metallglänzendes, flüssiges Metall resultirt; Eigenschaften, die, mit Ausnahme des Kalium- und Natrium-Ammoniums, sämmtlichen hier beobachteten Ammoniummetallen zukommen. Bezüglich der Beständigkeit dieser Verbindungen ist zu bemerken, dafs die Dauer derselben wesentlich von dem Druck des über ihnen befindlichen Ammoniakgases und der umgebenden Temperatur abhängt. Obige Versuche wurden bei gewöhnlicher Zimmertemperatur angestellt, und war der die Metalle enthaltende Schenkel der Röhre aus den schon angegebenen Gründen in eine Schale mit kaltem Wasser eingesenkt. Bei wenig erhöhter Temperatur tritt die Reduction der Metallsalze durch das Natriumammonium zwar ein, nicht aber die Bildung eines Ammoniummetalles, und hat sich ein solches gebildet, so zersetzt es sich sehr rasch, selbst in flüssigem Ammoniak. Ist der Chlorsilberschenkel stets in ein siedendes Chlorcalciumbad eingetaucht, so tritt das Zerfallen der im andern Schenkel befindlichen Ammoniummetalle bei 12° bis 15° erst im Verlauf eines Tages ein. Flüssiges Ammoniak legirt sich wie mit Kalium- und Natrium-Ammonium, auch mit diesen Metallen, ohne wie es scheint, deren Charakter wesentlich zu ändern; vielleicht aber auch mit ihnen, wie mit den einfachen Metallen selbst, wieder Ammoniummetalle bildend. Ein eigenthümliches Verhalten zeigte das bei dem Zerfallen des Quecksilberammoniums resultirende Quecksilber; es durchzog das gleichzeitig gebildete Chlornatrium als eine schwarzgraue, zusammenhanglose Masse. Beim Oeffnen der Röhre gab dieselbe, an der Luft liegend, noch viel Ammoniak ab; in Wasser geworfen erwärmte sie sich beträchtlich, und er-

folgte erst nach dem Kochen nur schwierig die Vereinigung des Quecksilbers zu einer Kugel.

In Bezug auf das Barium-Ammonium ist noch nachzutragen, dafs die Bildung erst nach häufig wiederholter Einwirkung des Ammoniaks vor sich ging. Nach seiner Zersetzung durchzog das Barium, mit Natrium gemengt, als grauweifses Pulver das Chlornatrium; es wurde nach dem Oeffnen der Röhre mit Quecksilber ausgezogen, mit Salzsäure gekocht, und das gelöste Barium durch Schwefelsäure nachgewiesen.

Die bisher gewonnenen Resultate führten mich zu dem Versuch, das Wasserstoffammonium selbst zu bilden, durch Einwirkung von Natrium-Ammonium auf Ammoniumoxydsalze. Bei dem ohne Heftigkeit verlaufenden Procefs, unter dem erhöhten Druck des einwirkenden Ammoniaks, und bei zugleich möglichst niedrig gehaltener Temperatur, waren alle Umstände, welche die Zersetzung eines eventuell sich bildenden Ammoniums bewirken konnten, so viel wie möglich vermieden. Ich verfuhr bei diesen Versuchen genau, wie bei den vorangegangenen, und ging zuerst vom Chlorammonium aus. Dasselbe nahm, wie die übrigen Chlormetalle, bei beginnender Einwirkung des Ammoniaks eine grofse Menge Ammoniak auf, unter zuletzt erfolgender Auflösung in demselben, die mit der beginnenden Natriumammoniumbildung zusammenfiel. Die Farbe des Natrium-Ammoniums ging nach und nach in die einer dunklen Bronce über, und nahm zuletzt, nach Verlauf von etwa einer Stunde, als die Menge des Wasserstoff-Ammoniums vorzuwalten schien, eine stahlblaue Farbe an, unter Beibehaltung eines starken Metallglanzes, so lange noch geringe Mengen von Natrium-Ammonium unzersetzt waren, der jedoch auch mit diesem schwand; es zeigte sich alsdann die Röhre erfüllt von einer blauen, mit überschüssigem Ammoniak gemengten Flüssigkeit. Der hier gebildete Körper, der nach den gemachten Voraussetzungen $\left.\begin{matrix} NH_3 \\ H \end{matrix}\right\}$ seyn mufste, ist noch bei weitem unbeständiger, als die schon beschriebenen Am-

moniummetalle; er kann unter Innehaltung der bei diesen schon angegebenen Bedingungen, selbst nur während weniger Stunden bestehen, und erfolgt, wenn die Temperatur dieses Theils der Röhre 12 bis 14° übersteigt, ein Zerfallen des einen Theils des Ammoniums, bevor noch die Umsetzung zwischen Natrium-Ammonium und Chlorammonium vollendet ist. Es zeigt sich die beginnende Zersetzung durch eintretende Entfärbung der vorher tiefdunkelblauen Flüssigkeit, und endet unter Zurücklassung völlig farblosen Ammoniaks, das als leicht bewegliche Flüssigkeit das entstandene Chlornatrium durchdringt und überfliefst. War der hier beobachtete blaue Körper das gesuchte Ammonium, so konnte ein Zerfallen desselben voraussichtlich nur nach einer den übrigen Ammoniummetallen analogen Weise, erfolgen, nämlich im Ammoniak und Wasserstoff, dessen Gegenwart, wie unten beschrieben, nachgewiesen wurde.

Um nun zu prüfen, ob die blaue Verbindung nicht etwa eine Chlorverbindung sey, und Chlor zu ihrer Bildung wesentlich sey, wurde in einem zweiten Versuche schwefelsaures Ammoniumoxyd der Einwirkung von Natrium-Ammonium ausgesetzt, und waren die Gewichtsverhältnisse so gewählt, dafs auf ein Aequiv. Natrium wenig mehr als ein Aequiv. des Ammoniaksalzes kam, damit dem entstandenen Wasserstoff-Ammonium nicht unzersetztes Natrum-Ammonium beigesetzt sey. Der Versuch ergab mit dem vorigen vollkommen identische Resultate; insofern die dort beobachteten Erscheinungen bei der Bildung und Zersetzung der auch hier entstandenen blauen Verbindung sich genau wiederholten, und fand sich, wie dort bei der später erfolgten Oeffnung der Röhre Chlornatrium und Wasserstoff, so hier schwefelsaures Natron und Wasserstoff. Ein weiterer Versuch, die Bildung dieses Ammoniums durch salpetersaures Ammoniumoxyd zu erzielen, scheiterte an der allzuheftigen Einwirkung des Natrium-Ammoniums auf dieses Salz; es wurde hierbei die zum Versuche dienende Röhre unter heftigem Knall zersprengt.

Betrachtet man die grofse Uebereinstimmung in der Bil-

dungs- und Zersetzungsweise der hier erhaltenen Verbindung mit den schon beschriebenen Ammoniummetallen, so wie die Unabhängigkeit ihrer Bildung von den zu ihrer Darstellung gewählten Ammoniumoxydsalzen, so ist mit ziemlicher Gewifsheit anzunehmen, dafs in ihr das gesuchte Ammonium vorliege. Man könnte freilich geltend machen, dafs das Ammoniak im *status nascens* auf der einen Seite zu dem aus Salmiak freiwerdenden Wasserstoffammonium, auf der andern Seite in dieselbe Beziehung treten könne, wie Natrium-Ammonium zu den Chlormetallen, d. h. dafs hier, wie dort, sich ein Ammonium bilde durch Zusammentreten von Ammoniak und Wasserstoff. Berücksichtigt man jedoch, dafs, wie aus dem schon beschriebenen Verhalten von Ammoniak gegen gebildete Ammoniummetalle hervorgeht, die äufsern Eigenschaften dieser letzteren nicht wesentlich geändert erscheinen, so wird man auch hier, nach Analogie zu schliefsen, die Eigenschaften des vollkommen isolirten Ammoniums, als nicht wesentlich verschieden von den beobachteten, aufzufassen haben.

Da es mir wichtig erschien, die Zusammensetzung des Wasserstoff-Ammoniums aufser Zweifel zu setzen, änderte ich die Bedingungen bei seiner Bildung in folgender Weise ab.

Wenn Natrium-Ammonium auf Chlormetalle und Oxyde reducirend einwirkte, war zu erwarten, dafs, wenn überhaupt der Wasserstoff im *status nascens* befähigt ist, mit Ammoniak Ammonium zu bilden, bei der Einwirkung von Natrium-Ammonium auf Natronhydrat, unter Abscheidung von Natriumoxyd, Wasserstoff-Ammonium sich bilden würde.

0,208 Grm. Kalium und 0,298 Grm. Kalihydraht wurden der Einwirkung von Ammoniakgas ausgesetzt. Nach kurzer Zeit war die Bildung von Kalium-Ammonium und dessen gleichzeitig eintretende Einwirkung auf das Kalihydrat an dem Auftreten des intensiv blauen Körpers zu beobachten; er war gleichfalls, wie der aus den Ammoniumsalzen erhaltene, flüssig, und zerfiel wie jener, nach wenigen Stunden in Ammoniak und Wasserstoff, der nach dem Oeffnen der Röhre nebst Kaliumoxyd, dieses in einer festen

Verbindung mit Ammoniak nachgewiesen wurde. Zur weiteren Prüfung des metallischen Charakters des Ammoniums wurde in einer zweiten Röhre von beistehender Abänderung in der Form die Amalgamation mit Quecksilber versucht.



Der Schenkel *a* enthielt Chlorsilber-Ammoniak, *b* Natrium und Natronhydrat, *c* Quecksilber. Durch Neigen der Röhre war es möglich das Ammonium zum Quecksilber fliefsen zu lassen und durch Schütteln die Amalgamation zu unterstützen. Obgleich eine wesentliche Veränderung des Quecksilbers nicht beobachtet werden konnte, so entfärbte sich doch die blaue Flüssigkeit rasch nach dem jedesmaligen Schütteln mit dem Quecksilber, ohne dafs eine Gasentwickelung zu beobachten gewesen wäre. Es ist sonach anzunehmen, dafs das in dem Ammoniak gelöste Ammonium von dem Quecksilber aufgenommen wurde, während die scheinbare Unveränderlichkeit des letzteren in der überwiegend gröfseren Menge desselben gegen das aufgenommene Ammonium seinen Grund hat.

Die Nachweisung des in sämmtlichen zur Darstellung des Wasserstoffammoniums verwandten Röhren enthaltenen Wasserstoffs geschah in folgender Weise. Die zu Spitzen ausgezogenen Enden wurden mittelst Kautschuckverbindung unter einem mit Quecksilber gefüllten Eudiometer geöffnet; hierbei wurden bei einigen Versuchen in Folge des gewaltsamen Austritts des Gases die Leitungsröhren abgerissen; bei mehreren anderen gelang es, die Gasmenge aufzufangen und zur Untersuchung zu bringen. Der durch Schwefelsäure nicht absorbirbare Theil erwies sich beim Anzünden durch schwache Verpuffung als ein Gemenge von der in den Röhren enthaltenen Luft und Wasserstoff.

Wenn durch die bisher beschriebenen Versuche gezeigt ist, dafs das Wasserstoff-Ammonium, sowie eine Reihe anderer Ammoniummetalle existiren, und als solche isolirt erhalten werden kann, so folgt hieraus mit ziemlicher Gewifsheit, dafs die bisher durch Zusammentreten von Am-

moniak mit Metalloxyden und deren Salzen erhaltenen Verbindungen als die den bezüglichen Metallen entsprechenden Ammonium-Verbindungen zu betrachten sind, wie diefs bei einem grofsen Theil auch schon lange geschehen ist; eine Auffassung, die bis zur Evidenz sich erhebt, wenn es gelingt, von den Ammoniummetallen selbst ausgehend, solche Verbindungen zu erhalten. In Folgendem sollen die in dieser Richtung angestellten Versuche beschrieben werden. Das Oxyd des Kalium-Ammoniums mufste sich bei der Darstellung des Wasserstoff-Ammoniums aus Kalium und Kalihydrat gebildet haben. Den hier vor sich gehenden Procefs veranschaulichen folgende Formeln:

$$\left.\begin{matrix}\left.\begin{matrix}K\\H\end{matrix}\right\}O_2+\begin{matrix}K\\NH_3\end{matrix}\\\left.\begin{matrix}K\\H\end{matrix}\right\}O_2+\begin{matrix}K\\NH_3\end{matrix}\end{matrix}\right\}+\left.\begin{matrix}NH_3\\NH_3\end{matrix}\right\}=\left.\begin{matrix}H\\NH_3\\H\\NH_3\end{matrix}\right\}+2\left.\begin{matrix}K\\NH_3\\K\\NH_3\end{matrix}\right\}O_2$$

Es fand sich denn auch nach dem Oeffnen solcher Röhren eine weifse ziemlich compacte Masse, die in ihren Eigenschaften wesentlich vom Kaliumoxyd abwich. Die Bruchflächen zeigten sich vollkommen weifs und besafsen starken Glimmerglanz; in trockener Luft war dieser Körper geruchlos, in feuchter Luft zog er Wasser an, zerflofs und roch stark nach Ammoniak; in Wasser geworfen zertheilte er sich nach heftigem Schütteln zu einem weifsen Pulver, das sich erst nach einiger Zeit klar löste; die Lösung entwickelte nach dem Kochen grofse Mengen Ammoniak. So fest gebunden hält diese Verbindung das Ammoniak, dafs beim Erhitzen der Substanz in einer an einem Ende zugeschmolzenen Röhre dasselbe nur zum kleinsten Theile entweicht, während der übrige auf das Kaliumoxyd reducirend einwirkend sich unter Bildung von Wasser und Kaliumamid zersetzt; letzteres an der blaugrünen Farbe erkennbar. Es kann eine Verbindung von Kalium oder Natriumoxyd mit Ammoniak auch noch auf folgendem Wege erhalten werden. Leitet man Ammoniakgas über Kalium oder Natrium, so bildet sich nach einigen Stunden in den meisten Fällen auf der Oberfläche desselben eine sehr dünne Schicht

eines weifsen Körpers, dessen Auftreten schon Berzelius gelegentlich der Darstellung des Kaliumamids bemerkt, aber seine Zusammensetzung nicht erkannt hatte. Die Bildung dieser Substanz hat, wie ich beobachtet, ihren Grund in der im Ammoniakapparat fast stets vorhandenen Luft, und läfst sich ein grofser Theil der Kaliummasse in diese Substanz bei gewöhnlicher Temperatur überführen, wenn man zugleich mit trockenem Ammoniakgas trockene Luft zu dem Kalium treten läfst. Denn obwohl Sauerstoff allein weder Kalium noch Natrium bei gewöhnlicher Temperatur zu oxydiren vermag, so erlangt er doch in hohem Grade dieses Vermögen bei Gegenwart von Ammoniakgas. Vollständig gelingt die Umwandlung des Kaliums in den fraglichen Körper, wenn man das Kalium in kleinen Stücken verwendet, die Kugelröhre, in der man diese Operation zweckmäfsig vornimmt, in siedendes Wasser einsenkt, und während mehrerer Tage vollständig trockenes Ammoniakgas unter einem Drucke von 1 bis 2 Zoll Quecksilber mit Luft gemengt, überleitet. Erwärmt man über 100 Grad, so kann man den Vorgang noch sehr beschleunigen, befördert aber auch bei leicht eintretender Ueberhitzung das Zerfallen des gebildeten Kalium-Ammoniumoxydes in Kaliumamid und Wasser.

Kalium, bei einer Temperatur von 100° in einer Kugelröhre während mehrerer Tage der Einwirkung nicht allzufeuchten Ammoniakgases ausgesetzt, ging unter bedeutender Volumvergröfserung in eine weifse, äufserst poröse bimsteinartige Masse über, deren untere den Wandungen der Kugel anhängende Partien noch von unverändertem Kalium durchdrungen waren, während der obere, dem feuchten Ammoniakgas am meisten ausgesetzte Theil, theilweise in Kalihydrat übergegangen war. Kleinere Stücke dieser von Kalium und Kalihydrat getrennten Masse setzten sich beim Erhitzen rasch in einen blauen geschmolzenen Körper um, der bei weiterem Erhitzen an der Luft in Kaliumoxyd überging. In Wasser löste er sich unter Erwärmung und starker Ammoniakentwickelung auf. Als ich

versuchte, die Hauptmasse von den Wandungen der Kugel zu trennen, trat unter dem Druck der Finger eine plötzliche explosionsartige Zersetzung unter Umherschleuderung brennenden Kaliums ein.

Dafs dieser Körper eine Verbindung von Kalium, Ammoniak und Sauerstoff, zur Gruppe der Ammoniumoxyde gehöre, scheint nach seinen Eigenschaften und seiner Bildung zu schliefsen, aufser Zweifel; ob aber ein, mehrere oder sämmtliche Wasserstoffaequivalente durch Kalium vertreten sind, würde hier auch durch eine Analyse nur sehr schwer zu entscheiden seyn, insofern diese Ammoniumoxyde selbst wieder nicht unbeträchtliche Mengen Ammoniak hartnäckig zurückhalten.

Analog dem Ammoniak scheinen auch Kalium- und Natrium-Amid befähigt zu seyn, mit den Oxyden dieser Metalle charakteristische Verbindungen zu bilden. Ich beobachtete nämlich bei der Einwirkung von Ammoniak und Sauerstoff auf Kalium, Amidbildung noch weit unter der Temperatur, wie sie erforderlich ist, bei der Darstellung dieses Körpers aus Ammoniak und Kalium allein, was sich durch die Verwandtschaft des anwesenden Sauerstoffs zu dem aus dem Ammoniak freiwerdenden Wasserstoff erklärt. Aehnliche Beziehungen finden bei Natrium statt. Die Bildung des Amides geht so lange vor sich, als das Ammoniakgas vorwaltet; vermehrt man jedoch die Menge des zuströmenden Sauerstoffs, so treten beide an das Metall, gleichzeitig Amid und Oxyd bildend, deren Verbindung bei dem Kalium als tiefblaue, bei dem Natrium als rubinrothe geschmolzene Masse von der Kaliumkugel abfliefst; beide sind bei 300° im Ammoniakstrom beständig, zersetzen sich aber beim Ueberleiten von Sauerstoff oder Luft unter Entfärbung und Zurücklassung einer weifsen, wie Kali- und Natronhydrat sich verhaltenden Masse. Die gleichzeitige Einwirkung beider Gase auf die geschmolzenen Metalle ist nicht erforderlich, denn hat man zuerst Amid gebildet, und leitet nun erst Sauerstoff über, so erfolgt auch

hier die Bildung der erwähnten Verbindung, in dem Maafse die Oxydation der Metalle fortschreitet.

Es contrastirt diese energisch ausgesprochene Verwandtschaft der Oxyde der Alkalien in auffallender Weise mit der ziemlich grofsen Passivität ihrer Hydrate gegen dasselbe, die hier in dem Streben des Hydratwassers, seinerseits mit dem Ammoniak zu Ammoniumoxyd zusammenzutreten, begründet seyn möchte.

Chlorkalium, Chlornatrium, schwefelsaures Natron und Chlorbarium absorbiren unter sehr hohem Drucke, unter bedeutendem Anschwellen der Masse, zwar viel Ammoniak, geben es aber alle mehr oder weniger rasch an der Luft ab, und kommt sonach diesen Ammoniumverbindungen eine verhältnifsmäfsig nur geringe Beständigkeit zu. Chlorcalcium absorbirt, wie schon Faraday gezeigt, leicht Ammoniak und giebt dasselbe erst wieder beim Erhitzen vollständig ab. Aber auch eine Lösung absorbirt, wie ich beobachtet habe, äufserst heftig grofse Mengen Ammoniak. Stellt man sich eine möglichst concentrirte Lösung von Chlorcalcium in käuflicher Ammoniakflüssigkeit her, und leitet in diese Ammoniakgas ein, so erfolgt bei Beginn der Operation die Absorption der aus dem Zuleitungsrohr austretenden Gasblasen so plötzlich, dafs ein Tönen zu hören ist, wie beim Einleiten von Wasserdampf in kaltes Wasser. Ein etwa zwei Liter haltender Kolben einer solchen mit Ammoniakgas gesättigten Flüssigkeit diente mir Monate lang bei meinen Versuchen zur Entwickelung von Ammoniakgas, und bedürfte es zur Erzeugung eines beliebig zu regulirenden Ammoniakstroms einer nur geringen Erwärmung.

Eine auffallende Erscheinung ist es, dafs das Ammoniak mit den Chloriden und Sauerstoffsalzen der elektropositivsten Metalle so äufserst unbeständige Ammoniumverbindungen eingeht, während es doch mit den Chloriden beinahe sämmtlicher übrigen Metalle, so wie mit einem grofsen Theil der Oxyde derselben, beständige, und zum Theil scharf charakterisirte Verbindungen bildet, die übrigens

auch beinahe alle in die grofse Gruppe der Ammoniummetalle sich einzureihen scheinen.

Die Sulfurete des Kalium- und Natrium-Ammoniums suchte ich zu erhalten, einmal durch Einwirkung von flüssigem Ammoniak auf die Schwefelmetalle, und dann durch Einwirkung der Ammoniummetalle auf eine aequivalente Menge Schwefel. Es absorbirten die Schwefelalkalien unter den zuerst genannten Bedingungen eine grofse Menge Ammoniak. Bei grofsem Ueberschufs desselben waren die entstandenen Verbindungen orangegelb, und fand eine partielle Lösung derselben statt; nach dem Erkalten des Chlorsilberschenkels trat unter Entfärbung der Masse viel Ammoniak wieder zurück, und der nun weifse Körper liefs beim Oeffnen der Röhre ebenfalls noch Ammoniak entweichen; bei schwachem Erwärmen, sowie beim Kochen der wässerigen Lösung trat der Geruch nach Schwefelammonium auf. Die auffallende Bildung von Schwefelammonium liefs mich vermuthen, dafs hier nicht die Sulfurete von Monokalium- und Natrium-Ammonium vorlagen, sondern dafs eine Zersetzung des Ammoniaks eingetreten seyn müsse, wie diefs sich bei folgendem Versuche evident zeigte. Ich setzte aequivalente Mengen Natrium und Schwefel der Einwirkung flüssigen Ammoniaks aus. Verwandt wurden 0,318 Grm. Natrium, 0,221 Grm. Schwefel. Mit beginnender Einwirkung des Ammoniaks traten die ersten Mengen Natrium-Ammoniums in Reaction mit einem Theile des als feines Pulver angewandten Schwefels, unter Bildung des vorher erwähnten gelben Körpers, der sich in weiter zugeführtem Ammoniak auflöste. Als jedoch die Röhre leicht bewegt wurde, so dafs sämmtliches inzwischen gebildetes Natrium-Ammonium mit dem übrigen Inhalt der Röhre in Berührung kam, nahm sofort die ganze Masse die tiefblaue Farbe des Wasserstoffammoniums an, die jedoch, sowie der Schwefel immer mehr zur Wirkung kam, schon nach einer halben Stunde gänzlich verschwand, und der gelben Farbe des bei der Einwirkung von Ammonium auf Schwefelnatrium erhaltenen Körpers wich. Nach dem Oeffnen

der Röhre verhielt er sich in gleicher Weise. Die durch das Ammoniak erzielte Gewichtszunahme betrug 0,118 Grm. Die Menge des Schwefelnatriums stand sonach zu der des aufgenommenen Ammoniaks im Verhältnifs von 2 : 1, so dafs um die Hälfte weniger Ammoniak aufgenommen worden war, als zur Bildung von Schwefelnatrium-Ammonium erforderlich gewesen wäre. Zwei andere Versuche ergaben dieselben Resultate. Dafs dem erhaltenen Endproducte Schwefelammonium, NH_4S, beigemengt seyn mufste, geht aus dem vorübergehenden Auftreten des Wasserstoff-Ammoniums hervor, dessen Vorhandenseyn aufserdem noch durch die Nachweisung des Wasserstoffs documentirt wurde. Wenn der gelbe Körper, welcher sich bei Einwirkung von Ammoniak auf Schwefelnatrium bildet, Schwefelammonium enthält, so erklärt sich das Auftreten von Wasserstoff-Ammonium bei Gegenwart von Natrium, Schwefel und Ammoniak leicht durch die Einwirkung des noch nicht in die Reaction eingetretenen Natrium-Ammoniums auf den schon entstandenen Schwefelammonium enthaltenden Theil des gelben Körpers. Enthielt derselbe aufser NH_4S als weiteren Bestandtheil ebenfalls das Sulfuret eines Ammoniums, so mufste in demselben in jedem Falle mehr als ein Aequiv. Wasserstoff durch Natrium vertreten seyn; ja es konnte diese Vertretung, nach der durch das Verhalten des Quecksilberoxyds gegen Ammoniak indicirten Analogie zu schliefsen, auf sämmtlichen Wasserstoff sich erstrecken, wie diefs nachstehende Formeln andeuten:

$$4\left.\begin{matrix}Hg\\Hg\end{matrix}\right\}\Theta + 4\left\{\begin{matrix}NH_3\\NH_3\end{matrix}\right. = \left.\begin{matrix}NHg_4\\NHg_4\end{matrix}\right\}\Theta + 3\left\{\begin{matrix}NH_4\\NH_4\end{matrix}\right.\Theta$$

$$4\left.\begin{matrix}Na\\Na\end{matrix}\right\}S + 4\left\{\begin{matrix}NH_3\\NH_3\end{matrix}\right. = \left.\begin{matrix}NNa_4\\NNa_4\end{matrix}\right\}S + 3\left\{\begin{matrix}NH_4\\NH_4\end{matrix}\right.S$$

Für Quecksilberoxyd ist die hier angedeutete Zersetzung von mir früher schon beschrieben; sie erfolgt bei der Einwirkung von Ammoniak auf dasselbe bei 100° unter gewöhnlichem Druck, aber auch bei Einwirkung flüssigen Ammoniaks auf Quecksilberoxyd bildet sich Tetramercurammoniumoxyd.

Berechnet man die durch die Wirkung des Ammoniaks auf Schwefelnatrium erzielte Gewichtszunahmen nach der in der obigen Formel gemachten Voraussetzung, und berücksichtigt man, dafs Schwefelammonium an der Luft genau die Hälfte seines Ammoniaks abgiebt, so erhält man mit den durch die Formeln geforderten sehr nahe übereinstimmende Zahlen. Um die Voraussetzung, dafs bei diesen Versuchen sich Schwefeltetranatrium-Ammonium gebildet, zu prüfen, liefs ich ein Aequivalent Natrium-Ammonium auf vier Aequivalente Schwefel wirken. Es trat bei überschüssigem Ammoniak unter Bildung von Wasserstoff-Ammonium rasch eine Vereinigung des sämmtlichen Natriums mit dem Schwefel ein, und blieb nach dem Zerfallen des Wasserstoff-Ammoniums ein schwach-gelbes krystallinisches Pulver zurück. Es löste sich leicht in Alkohol und Wasser, entwickelte beim Kocken kein Schwefelammonium, wohl aber viel Ammoniak.

Eine Analyse dieses Körpers, die über seine Zusammensetzung entscheiden würde, konnte ich bis jetzt noch nicht durchführen.

Die hier, sowie vielleicht auch beim Kaliumoxyd, und namentlich beim Quecksilberoxyd ausgesprochene Tendenz des Ammoniaks die Bildung von Tetrametallammonium zu veranlassen, bestimmten mich, zu den Erscheinungen, die unter den möglichst einfachen Bedingungen erfolgen, wieder zurückzukehren und die Einwirkung des Ammoniaks auf Kalium auch nach dieser Richtung hin zu untersuchen. Die hierbei erlangten, noch nicht zum Abschlufs gekommenen Resultate theile ich kurz mit, da sie das Verständnifs der übrigen wesentlich erweitern und zu ihnen ergänzend sich verhalten.

So wie man als Ursache für das Entstehen von Tetramercurammoniumoxyd ein Zerfallen des Monomercurammoniumoxyds in jenes und Wasserstoffammoniumoxyd annehmen kann, wäre wohl auch die Bildung eines Tetrametallammoniums aus einem Monometallammonium möglich.

Ich liefs Ammoniak auf Kalium im Verhältnifs mehre-

rer Aequivalente von jenem zu einem von diesem einwirken. Anfänglich bildete sich Kalium-Ammonium, das nach mehrstündiger Einwirkung dunkler zu werden begann, alsdann die tiefblaue Farbe des Wasserstoff-Ammoniums annahm und schliefslich unter Zurücklassung einer gelben Flüssigkeit, die sämmtliches Kalium gelöst enthielt, sich entfärbte. So wie der Chlorsilberschenkel erkaltete und das überschüssige Ammoniak in ihn zurücktrat, schied sich ein farbloser durchsichtiger krystallinischer Körper aus, der an der Luft beständig war, in Wasser geworfen, unter heftigem Aufbrausen und starker Ammoniakentwickelung sich löste. Wasserstoff schien er nicht zu entwickeln. Weitere Versuche konnte ich bis jetzt noch nicht mit ihm anstellen; doch scheint in ihm kein Ammoniummetall vorzuliegen und gehört er vielleicht in die Reihe der Amide. Die Röhre liefs beim Oeffnen viel Wasserstoff entweichen. Mehrere andere Versuche führten zu den gleichen Ergebnissen. Da hieraus hervorging, dafs bei einer grofsen Menge überschüssigen Ammoniaks die erwartete Umsetzung nicht eintrat, brachte ich Kalium und Ammoniak wieder wie früher in aequivalente Mengen zusammen, und hielt den Chlorsilberschenkel der Röhre mehrere Wochen bei Tage stets in einem siedenden Chlorcalciumbade. Auch hier war schon nach einigen Tagen das Auftreten von Wasserstoff-Ammonium zu beobachten. Später zeigte sich, wenn das Ammoniak nach dem Chlorsilberschenkel zurückgetreten war, ein wie das Kalium weifser aber krystallinisch körniger stark metallglänzender Körper, der durch Erwärmen in der Röhre auf 100° nicht geschmolzen werden konnte. Eine zweite, Natrium-Amalgam enthaltende Röhre war in gleicher Weise behandelt worden. Hätte aufser der Bildung von Mononatrium-Ammonium kein anderer Procefs stattgefunden, so würde bei der Unbeständigkeit dieses Körpers in geöffneter Röhre reines Natriumamalgam zurückgeblieben seyn. Es entwickelte das resultirende Amalgam, in Wasser geworfen, viel Wasserstoff, wurde jedoch schwierig zersetzt und trat, was mir für den vorliegenden Fall

sehr wichtig erschien, neben Wasserstoff-Ammonium auf, der sicherste Beweis, dafs das Amalgam aufser Natrium noch Stickstoff enthielt. Um gegen einen Irrthum, der durch das dem Amalgam etwa anhaftende gasförmige Ammoniak veranlafst seyn könnte, geschützt zu seyn, erhitzte ich das Amalgam unter Abschlufs der Luft bis zum Schmelzen; doch bildete sich auch hier bei Behandlung des erhaltenen Regulus mit Wasser neben Wasserstoff auch Ammoniak, woraus sonach folgte, dafs die Umsetzung in Tetrametallammonium und Wasserstoff - Ammonium selbst auch im Amalgam eintreten kann. Dieses Verhalten des Kalium-Ammoniums veranlafste mich, die metallischen Rückstände, die ich erhalten hatte bei dem Zerfallen der übrigen Monoammoniummetalle, auf einen möglichen Gehalt an Stickstoff respective Tetrametallammonium zu untersuchen. Es bestätigte sich in der That auch diese Vermuthung bei dem darauf hin untersuchten Barium und Silber, und zwar einmal insofern, als in den Röhren, die zur Darstellung deren Ammoniummetalle dienten, Wasserstoff sich nachweisen liefs, so wie auch dadurch, dafs das Silber bei dem Uebergiefsen mit verdünnter Chlorwasserstoffsäure Wasserstoff entwickelte. Zu einem zweiten Versuch wurden das Barium und Silber mit Quecksilber amalgamirt, die erhaltenen Amalgame durch Waschen mit Salzsäure und Wasser von den noch etwa anhaftenden Ammoniaksalzen befreit, dann mit Wasser übergossen und zum Sieden desselben erhitzt, wobei das Bariumamalgam ziemlich leicht Wasserstoff und Ammoniak entwickelte, während das Silberamalgam nur äufserst schwierig sich zersetzte, doch aber unter dem unverkennbaren Auftreten des Geruches nach Ammoniak. Die Zersetzung jenes letzteren ging rascher von statten nach dem Uebergiefsen mit Salzsäure, in der nach Beendigung des Processes das aufgenommene Ammoniak durch Platinchlorid nachgewiesen werden konnte.

Berlin, im August 1864.

VIII. *Die Sternschnuppen in ihren Beziehungen zur Erdoberfläche; von Freiherrn von Reichenbach.*

XXIII.

Ueber die Zusammensetzungen der Meteorsteine habe ich mich in der XIII. dieser Abhandlungen [1]) ausgesprochen und darzuthun bestrebt, dafs sie nie und nirgends mit mineralogischer Einfachheit angethan, niemals mineralogische Individuen sind, sondern dafs sie überall in einer Weise zusammengesetzt erscheinen, wie wir diefs nur bei Breccien und ähnlichen Conglomeraten terrestrischer Körper sehen. Weiteres ist dort auseinandergesetzt, wie diese Gemengtheile theils aus kleinern Kügelchen bestehen, mehr oder minder abgerundet, theils aus unregelmäfsig geformten, bisweilen sogar noch ganz scharfeckigen Trümmerstückchen. Sofort ist nachgewiesen, dafs diese beiden wiederum nicht einfach, sondern im zweiten Grade ebenso zusammengesetzt sind, wie die Muttermeteoriten, in denen sie eingelagert vorkommen. Endlich ist gezeigt, dafs sich bei Beschauung unter dem zusammengesetzten Vergröfserungsglase selbst diese zweiten Einschlüsse noch immer nicht einfach, sondern im dritten Grade aus heterogenen Körperchen gemengt ausweisen. Und da diese Einschlüsse ganz in der Weise zusammengesetzt erscheinen, wie die ursprünglichen Meteoriten, so dafs diese Tochtermeteoriten nur der Gröfse nach von den Muttermeteoriten verschieden auftreten, so habe ich sie im eigentlichsten Sinne des Wortes ***Meteoriten in Meteoriten*** zu nennen mir erlaubt.

Schön gerundet und der gröfsere Antheil an der Masse des Meteorsteines ausmachend, kommen diese Einschlüsse als Kügelchen mit grofser Deutlichkeit vor, in der Meteoriten von *Borkut, Simbirsk, Kaba, Benares, Clarac-Aufson,*

1) Diese Annalen Bd. CXI, S. 353.

Pegu, Piney, Nanjemoy, Richmond, die sich fast in allen gröfsern Sammlungen vorfinden; eckig, stellenweise scharfkantig, unregelmäfsig gestaltet und mehr oder minder Trümmerstückchen gleichend, erscheinen sie in *Madaras, Bremervörde, Parnallee*; wieder andere halten das Mittel zwischen beiden, und sind aus Kügelchen und Trümmerstückchen nebeneinander zusammengesetzt: so *Lontalax, Nobleborough, Mässing* und vorzugsweise *Siena*, wovon ein überaus schönes, merkwürdiges und lehrreiches Stück zu Berlin in der Sammlung der Universität liegt, ein Journal von einem Meteorsteine.

Wie nun die grofsen Meteoriten im Allgemeinen hauptsächlich aus metallischem Eisen, aus Schwefeleisen, aus Eisenoxyduloxyd und Talkerdesilicaten bestehen, so sieht man auch die Tochtermeteoritchen aus denselben Materialien zusammengesetzt, nur bald in andern Proportionen der Bestandtheile, bald anders von Farbe, weifs in schwarzen Meteoriten wie *Renazzo*, schwarz in weifsgrauen, wie *Siena*, verschiedentlich gefärbt in *Madaras* und andern; bald von verschiedener Feinheit des Kornes, bald von anders gerichteter, öfters sich kreuzender Schichtung.

Mit allen diesen Beschaffenheiten und Unterschieden vom Hauptmeteoriten ausgerüstet erweisen sich nun diese eingeschachtelten Meteoritchen als Gebilde, die im Ursprunge eigene Entstehung und eigenes Daseyn besafsen. Sie sind wie ich mit Belegen dargethan habe, früher eigene, kleine, primäre Meteoriten gewesen, die sich später für sich zu einem gröfsern Körper aggregirt oder an einen solchen angeschlossen haben. Sie sind dann in seine Masse eingeschlossen und ihm als untergeordnete Bestandtheile einverleibt worden. Die Belege für diese Ansicht will ich hier, um Weitläuftigkeit zu vermeiden, nicht wiederholen, sondern mich damit auf meine genannte frühere Abhandlung berufen.

In der darauf folgenden XIV. Abhandlung [1]) habe ich auseinandergesetzt, wie die Meteoriten, welche wir besitzen,

1) Diese Annalen Bd. CXI, S. 387.

von mächtigen, hunderte von Centnern schweren Massen der Gröfse nach in einer fortlaufenden Reihe heruntersteigen bis zu mikroskopischen Pünktchen; dafs, so wie gröfsere und kleinere Meteormassen zu uns herabfallen, so auch zahllos viele solche gröfste und kleinste Körperchen im Sonnensystem umherlaufen; dafs einige wenige Pfunde Meteorstein, z. B. von *Borkut*, einem feinen Roogensteine ähnlich Millionen solcher Kügelchen in sich angehäuft besitzt, die einst alle in eigener freier Bahn sich bewegt haben mufsten, und dafs solche von jeglicher Gröfse sich noch jetzt und beständig in den Welträumen umhertreiben.

Wenn nun solche kleine Individuen mit all der Geschwindigkeit und dem übrigen Verhalten der uns bis nun bekannten Meteoriten in die Atmosphäre eindringen, so müssen sie wie diese die Erhitzungs-, Schmelzungs- und beziehungsweise Verbrennungsprocesse durchlaufen, wie wir sie an den gröfsern Meteoriten nunmehr ziemlich genau kennen; sie müssen, ähnlich den Callumschen Kügelchen [1]), in feinen Staub zerstieben, und lange ehe sie den Erdboden erreichen können, für gewöhnliche Beobachtung unwahrnehmbar geworden seyn.

Diese kleinen Eindringlinge in unsern Luftkreis können nun in den obern Regionen keine andere Erscheinung hervorrufen, als die uns die Sternschnuppen darbieten. Hr. Schmidt zu Athen hat uns in seinem Buche über die Sternschnuppen gezeigt, dafs deren bisweilen in Einer Nacht Tausende von sechster Sterngröfse dem freien Auge sichtbar werden, ja dafs man mit dem Teleskope unzählbare Schaaren derselben von achter bis zehnter Sterngröfse wahrnehme, die sich jedoch alle, auch die fernsten, nicht anders verhalten, als die mit freiem Auge sichtbaren gewöhnlichen Sternschnuppen.

Wenn nun die Thatsache der Sternschnuppen einen solchen Umfang hat, dafs sie numerisch ins Colossale geht, müfste die Wirkung derselben am Ende doch, sollte man denken, nicht bei einem blofsen Lichtscheine stehen bleiben.

1) Diese Annalen Bd. CVI, S. 476.

Sind sie äufserst kleine Meteoritchen, so bringen sie doch Stoffliches mit, und kommen sie, wie alle Meteoriten, aus kosmischen Räumen, so müssen sie der Erdoberfläche irgend etwas Materielles zubringen. Wäre diefs für jeden einzelnen Fall, für jeden einzelnen Tag, ja für ein ganzes Jahr auch noch so wenig: am Ende nach Abflufs von Jahrtausenden müfste zuletzt doch etwas mit Sinnen erreichbares, etwas Greifbares, durch die Luft herabfallen und sich am Boden absetzen. Dafs wirklich etwas hieran Anstreifendes geschieht, davon legen die Callum'schen Kügelchen ja schon den unwiderleglichen Beweis ab. Was könnte, was müfste nun das seyn? doch offenbar nur etwas, was sich uns in den Meteoriten schon kund gegeben hat. Gewöhnlich sieht man die Anwesenheit des Nickels als das Kriterium für meteoritische Herkunft derjenigen Steine an, welche sonst durch ihre übrige Beschaffenheit der Herkunft vom Himmel verdächtigt sind. Wären die Sternschnuppen wirklich Erzeugnisse kleinster Meteoriten, so könnte man denken, dafs sie Nickel mitbrächten. Ein gleicher Fall wäre es mit Kobalt. Sofort wäre es Eisen, Kieselerde, Talkerde, Schwefel, Phosphor, welche zumeist in den Meteoriten gemein sind. Ob es eines Versuches werth seyn möchte, diese Muthmafsung weiter zu verfolgen?

Diesen Betrachtungen mich überlassend stieg ich den Labisberg hinauf, einen etwa 1200 Fufs hohen kegelförmigen Berg, mit Buchen bewaldet, auf dessen halber Höhe mein Landhaus liegt; ich suchte zuoberst eine Stelle aus, von der angenommen werden mufs, dafs sie aufser etwa von Holzhauern, niemals von menschlicher Thätigkeit erreicht worden ist, und nahm von verschiedenen Stellen einige Hände voll Erde von der Oberfläche, mengte sie untereinander, und trug eine Düte voll davon nach Hause. Sie wurde nun chemisch untersucht, und — zu meiner angenehmen Genugthuung — zeigte sie in der That unverkennbare Spuren nicht allein von Nickel, sondern auch von Kobalt. Ich ging nun auf einen andern Berg, den Haindelsberg, der etwa 100 Fufs höher ist und oben einen

Rücken bildet, und holte von abgelegenen Stellen Erde. Auch in ihr wurde Nickel und Kobalt gefunden. Erde die ich von einer dritten Höhe, gegen den Kahlenberg hin gelegen, aufhob, lieferte Reaction auf Nickel und Kupfer; ebenso ergab Erde, die ich von der Höhe des Dreymarksteinberges geholt hatte, wiederum Nickel und Kobalt. Endlich hatte Hr. Czerny Erde aus dem Marchfelde in anderer Absicht untersucht, und war dabei zu seiner Ueberraschung auf Nickel gestofsen. So fand sich denn also, dafs allenthalben in hiesiger Gegend der Erdboden auf seiner äufsersten Oberfläche Nickel und Kobalt enthält.

Wo sollen nun diese herkommen? Das Gebirge, auf dem sie hier gefunden wurden, besteht geognostisch aus wohlausgesprochenem Keupersandstein mit Strecken von Keuperkalkstein. Diese enthalten kein Nickel und kein Kobalt, und bei so vielen darüber geführten Untersuchungen ist niemals welches darin gefunden worden. Die Menge derselben ist zwar, weil sie zu gering war, nicht gewogen worden, wurde aber auf Ein Zehntausendtheil der untersuchten Erde geschätzt. Diese geringe Menge war, was hier wohl in Betracht kommt, auf allen untersuchten Punkten, dem Ansehen nach, gleich grofs. Der Versuch im Marchfelde war nicht auf Keupergrund, sondern auf Löfsboden geführt worden; das Ergebnifs war aber mit dem von Erde auf dem Keuper quantitativ ganz übereinstimmend. Es ist somit nach bisherigen Erfahrungen nicht abzusehen, wo dieser Nickel- und Kobaltgehalt herrühren soll.

Eisen und Kieselerde mengen sich mit dem vorhandenen Boden, und können nicht verfolgt werden. Ein anderes aber ist es mit dem Phosphor. Alle Landwirthe wissen, dafs aller Ackerboden ohne Ausnahme etwas weniges Phosphor enthält, den die darauf gesäeten Feldfrüchte aufnehmen und in ihrem Organismus verwenden, dafs dieser der Landwirthschaft so nothwendig ist, dafs die Gründe unfruchtbar werden, wenn ihnen aller Phosphor entzogen wird und dafs sie mit Knochenmehl, mit Asche und Guano nachhelfen müssen, wenn sie mit ihren Feldern nicht der

sogenannten Müdigkeit verfallen wollen. Seit langer Zeit aber zerbrechen sie sich die Köpfe darüber, wo denn eigentlich dieser Phosphor herrühre und woher sich seine so gleichförmige Verbreitung überall ableiten lasse?

Und nicht viel möchte es gefehlt seyn, wenn ich mir erlaube, hierher auch die so allgemeine Oberflächen-Verbreitung der Bittererde zu beziehen. In vielen Gegenden ist die geognostische Unterlage durchweg frei von Bittererde. Und dennoch sind die Felder niemals und nirgends ganz leer davon. Die Menge ist in manchen Gegenden so gering, dafs sie zur Bildung der Häute der Getreidekörner, wozu die Vegetation ihrer bedarf, kaum hinreicht. Aber sie ist doch in dieser kleinen Quantität vorhanden und fehlt nirgends gänzlich.

Wir haben also auf der Erdoberfläche, derjenigen Gegend wenigstens, welche ich der Prüfung unterzog, sehr kleine aber unverkennbare Mengen von

Nickel,
Kobalt,
Phosphor und
Bittererde

in allgemeiner gleichförmiger Verbreitung, deren Gegenwart bis jetzt nicht ableitbar aus den Umständen, nicht erklärbar von Seiten der Geologie ist. Aber gerade diese Substanzen sind es, welche sich in den Meteoriten vorzugsweise vorfinden, und welche sie aus den Welträumen auf die Oberfläche der Erde uns zubringen. Finden nun theoretische Gründe statt, welche uns die Sternschnuppen als Meteoriten wahrscheinlich machen, so findet diese Ansicht hierdurch einen neuen, aber thatsächlichen Unterstützungsgrund in der Auffindung derjenigen Stoffe in seiner Verbreitung auf der Erdoberfläche, welche den meteoritischen Körpern vorzugsweise eigen sind.

Demgemäfs würden, wenn ich mir den Schlufs erlauben darf, die Sternschnuppen der Quell seyn, aus welchem uns seit Jahrtausenden und täglich hinfort Phosphor in Säureform und Bittererde zur Befruchtung unserer Felder zugeführt

werden, Zeuge des Nickels und des Kobaltes, die neben ihnen sich vorfinden. Und man hätte sich diefs als einen äufserst feinen Regen, als einen unsichtbaren Duft zu denken, der in äufserst geringer Menge und in höchst feiner Vertheilung ohne Unterlafs sich aus der Atmosphäre auf unsere Meere, Wälder und Gefilde niedersenkt. Und so dürfte denn auch die Landwirthschaft Veranlassung finden, von der Lehre von den Meteoriten demnächst einige Notiz zu nehmen.

IX. *Ueber das angebliche Meteoreisen von Pompeji in der Chladnischen Meteoritensammlung; von G. Rose.*

In der Meteoritensammlung Chladni's, die durch des Letzteren Vermächtnifs dem Berliner mineralogischen Museum zugefallen ist, befand sich eine kleine Antike, die Chladni seiner Meteoritensammlung einverleibt hatte, weil er sie für ein Stück eines Meteoriten hielt, und auf die er einen grofsen Werth legte, da sie seiner Meinung nach ein Stück des ältesten Meteoriten wäre, dessen Alter man kennt. In der Beschreibung seiner Sammlung giebt er von ihr Nachricht [1]). Er hatte die kleine Antike von dem Prof. Rösel erhalten, in dessen Gegenwart sie im December 1817 in Pompeji bei dem Tempel des Jupiters ausgegraben war. Sie besteht in einem kleinen flachen ellipsoïdischen Stück Eisen, etwa 3 Linien lang und 2 Linien breit, das zum Theil schon in schwarzes Eisenoxydoxydul und in Eisenoxydhydrat umgeändert ist, aber noch stark auf die Magnetnadel wirkt [2]). Darin war eine kleine Karneolplatte [3])

1) Vergl. Kastner's Archiv für die gesammte Naturlehre 1825, Bd. 4, S. 236.

2) Chladni sagt mit Unrecht nur schwach. a. a. O. S. 236.

3) Chladni nennt sie eine Jaspisplatte.

mit eingeschnittenem Zeichen eines Sterns und Viertelmonds eingelegt, Zeichen mit denen nach Chladni die Alten öfter die herabgefallenen Massen, die sie als Heiligthum und als Symbol der Götter ansahen, bezeichneten, und Chladni glaubte nun, daſs dieſs auch mit diesem Eisen der Fall sey, um so mehr, als er bei ihm noch eine tafelartige und blättrige Structur wie bei dem Meteoreisen zu erkennen glaubte. Er war von seiner Meinung so überzeugt, daſs er ausfindig zu machen suchte, zu welcher Zeit das Eisen wohl gefallen seyn mochte. Da nun Plinius (*hist. nat. II*, 57) von einem Niederfalle schwammigen Eisens in Lucanien berichtet, der etwa 56 bis 52 Jahre vor unserer Zeitrechnung stattgefunden hat, so hielt er es für wahrscheinlich, daſs es dieser Fall gewesen sey, von welchem die gefundene Antike abstamme und zwar weil ältere Römische Schriftsteller wohl viele Meteorsteinfälle aber weiter keinen Eisenniederfall als diesen meldeten, weil Lucanien aus einem Theile des jetzigen Apulien, Abruzzo und Calabrien bestanden hat, und also die Gegend des Niederfallens nicht weit von Pompiji entfernt seyn konnte, und endlich weil die Zerstörung von Pompeji etwa 135 Jahre später als dieser Niederfall sich ereignet hat, und er also noch in Erinnerung geblieben seyn konnte, wie denn auch die Bearbeitung des Eisens und des Karneoltäfelchens wohl auch eine geraume Zeit vorher geschehen seyn mochte.

Um nun darüber Gewiſsheit zu erlangen, ob das Eisen der Antike wirklich ein Stück eines Meteoriten sey, habe ich zwei Versuche angestellt, die bei günstigen Resultaten für den meteorischen Ursprung des Eisens allerdings entscheidend wären; ich habe die Antike, so klein sie war, (sie wog nur 0,5912 Grammen) an der Unterseite anschleifen lassen, um sie zu ätzen und auf Widmanstätten'sche Figuren zu prüfen, und das dabei Abgetrennte auf Nickel untersucht.

Bei dem Befeilen des Eisens der Antike löste sich Pulver und ein kleines Stückchen ab; die erhaltene Fläche nahm aber beim Poliren keinen Metallglanz an, sie sah

schwarz aus wie Magneteisenerz, und nur an einer Stelle zeigte sich ein metallischer Streifen von stahlgrauer Farbe; von Widmanstättenschen Figuren konnte also nichts ererhalten werden.

Bei der Untersuchung des abgelösten Pulvers und des kleinen Stückchens wandte ich die Methode meines Bruders zur Auffindung kleiner Mengen von Nickel im Eisen an, nachdem ich mich zuvor bei einem Stückchen von der oxydirten Rinde des Toluca-Eisens von der Anwesenheit des Nickels auch in dieser Rinde überzeugt hatte. Das Eisen der Antike löste sich in heifser Chlorwasserstoffsäure in Vergleich mit dem Meteoreisen viel schneller als dieses auf: es blieb dabei ein kleines Stückchen zurück, das auch der Einwirkung des Königswassers widerstand und sich als Kieselsäure erwies, indem es im Achatmörser zerrieben, mit Soda vor dem Löthrohr zu einem Glase zusammenschmolz. Die Auflösung wurde mit Schwefelwasserstoffwasser und sodann gleich mit Ammoniak versetzt, ohne den zuerst entstandenen Niederschlag von Schwefel zu filtriren, der nun mit dem zuletzt entstandenen schwarzen Niederschlag von Schwefeleisen gemengt blieb. Derselbe wurde nun mit verdünnter Chlorwasserstoffsäure digerirt, wo wie bei dem Toluca-Eisen ein geringer schwarzer Rückstand blieb, und ich glaubte nun schon wirklich Nickel gefunden zu haben; als aber derselbe filtrirt, getrocknet, in einer kleinen Platinschale geröstet, und sodann auf Platindraht mit Phosphorsalz geschmolzen wurde, zeigte sich nur die Reaction von Kupfer; der Rückstand bestand also aus Schwefelkupfer, das schon gleich bei dem Zusatz von Schwefelwasserstoffwasser mit dem Schwefel niedergefallen, aber weil es nicht filtrirt war, mit dem Niederschlage des Schwefeleisens gemengt blieb. Das Verhalten bei der Aetzung und die Abwesenheit des Nickels widerlegen also die Meinung Chladni's, dafs die Antike meteorischen Ursprungs sey; aber auch die eingelegte Karneolplatte mit dem Zeichen von Stern und Mond scheint nichts zu beweisen, da mich der auch nun verstorbene

Prof. Tölken versichert hatte, dafs ein solches Zeichen sich oft auf Gegenständen befände, die sicherlich nicht himmlischen Ursprungs wären.

Die Antike ist demnach sehr wahrscheinlich ein Stück eines eisernen Ringes, wie sie bei den alten Römern viel getragen wurden. In der hiesigen Antiken-Sammlung befinden sich viele solche eiserne Ringe mit geschnittenen Steinen und Hr. von Olfers erlaubte mir gern, von mehreren derselben kleine Parthien ablösen zu dürfen, die ich chemisch untersuchte; ich fand bei allen diesen einen kleinen Gehalt an Kupfer, was mir bemerkenswerth zu seyn scheint.

Da es also hiernach erwiesen zu seyn scheint, dafs die besprochene Antike kein meteorisches Eisen ist, so bleibt immer der Meteorit von Ensisheim, der 1492 herabgefallen ist, der älteste bekannte Meteorit in den Sammlungen.

X. *Ueber die zur Fruchtbildung des Weizens specifisch nothwendigen anorganischen Stoffe; von Fürst Salm-Horstmar.*

Es ist mir endlich im verflossenen Sommer gelungen, den Schlüssel des mich schon lange verfolgenden Räthsels:

> »welches sind die zur Fruchtbildung des Weizens specifisch nothwendigen anorganischen Stoffe?«

zu finden.

Ich habe diesen Schlüssel gefunden in dem *Lepidolith* von Rozena, wenigstens für den Sommerweizen, wie sich aus dem ersten der folgenden Versuche ergeben wird.

Ich mufs vorausschicken, dafs das Bodenmedium dieser Versuche, abgesehen von den gewählten Zusätzen, aus klarem *Bergkrystall* bestand, der so fein zerschlagen war, dafs die gröbsten Splitter etwa 1,5 Millimeter Durchmesser hat-

ten, und die allerfeinsten waren durch Schlämmen entfernt. Er wurde hierauf in Salzsäure gekocht, dann ausgewaschen, zuletzt mit destillirtem Wasser, bis salpetersaures Silber keine Trübung mehr gab; dann im Platintiegel geglüht und *nochmals* mit destillirtem Wasser gewaschen.

Der Standort dieser Versuchpflanzen war ein unbewohntes Zimmer, welches die Mittagssonne hatte.

Die Pflanzen wurden so lange mit destillirtem Wasser begossen *bis* sich das *dritte* Blatt entwickelt hatte; von da an wurden sie mit destillirtem Wasser begossen, welches *auf hundert* Grammen 1 Centigramm salpetersaures Kali 2 Milligrammen Chlornatrium und 2 Milligrammen Chlorkalium enthielt.

A. Am 27. Februar. Versuch mit *Lepidolith.*

65,000	Grammen	Bergkrystall.	
0,07	»	Lepidolith fein zerrieben.	
0,04	»	drittel phosphorsaurer Kalk *nicht* geglüht [1]).	
0,01	»	Kieselsäurehydrat.	
0,02	»	kohlensaure Magnesia.	
0,05	»	kohlensaurer Kalk.	
0,02	»	schwefelsaurer Kalk.	
0,002	»	drittel phosphorsaure Magnesia.	
0,001	»	kohlensaures Manganoxydul.	
0,03	»	*basisch* phosphorsaures Eisenoxyd (mit Bergkrystall geglüht).	
0,02	»	salpetersaures Kali	In 15 Grammen Wasser gelöst.
0,003	»	» Natron	
0,001	»	Chlornatrium	
0,0003	»	Chlorkalium	

Nachdem die zehn zuerst genannten Gemengtheile dieser Bodenmischung gut gemengt und mit demselben Volum der zuletzt genannten Auflösung durchfeuchtet waren,

1) Der drittelphosphorsaure- oder dreibasischphosphorsaure Kalk wurde bei allen Versuchen dargestellt durch Fällung einer Lösung von salpetersaurem Kalk mit phosphorsaurem Ammoniak bei grofsem Ueberschufs von Ammoniak.

wurde dieses Gemenge in das aus weifsem filtrirtem Wachs bestehenden Gefäfs eingefüllt und mit einem Platinspatel etwas niedergedrückt; hierauf *drei* gewaschene Körner von Sommerweizen *so eingelegt*, dafs das obere Ende des Kornes *wenig* aus der Bodenmischung hervorstand, dann die zweite Hälfte der zuletzt genannten Auflösung über die Oberfläche vertheilt und hierauf noch *zwei* Grammen destillirtes Wasser über die Körner getropft, weil sie *besser* keimen, wenn ihre nächsten Bodentheilchen verdünntere Auflösung enthalten.

Nachdem die Körner den Anfang des Blattkeimes zeigten, wurden zwei Körner herausgezogen, so dafs nur *eine* Pflanze blieb, wie es bei allen diesen Versuchen geschehen mufs. Diese Pflanze wuchs normal, der Halm wurde siebenzehn Zoll lang, die Aehre hatte *vier* Blüthen und am 27. Juni *drei* vollständig ausgebildete starke *Körner*.

B. Am 27. Februar. Versuch mit gleicher Menge Lepidolith von Rozena und gleicher Bodenmischung wie bei *A.* aber mit Zusatz von

1 Milligrm. schwefelsauren Baryt
1 » » Strontian.

Hier war das Resultat ein schwächerer, etwas niederliegender Halm von zwölf Zoll Länge, eine Aehre mit Staubbeutel, aber doch *ohne* Frucht.

Die Ursache dieses Resultates ist wohl im Baryt oder im Strontian oder in beiden anzunehmen.

C. Am 2. März. Versuch in einer Bodenmischung *ohne* Lepidolith, übrigens wie bei *B.* aber mit Zusatz von

0,12 Grammen grünem Glimmer, der durch schaben mit der Schärfe eines Feuersteins fein zertheilt war.

Hier zeigte die Pflanze normalen Wuchs, Halm aufrecht und zwölf Zoll lang, eine kleine Aehre *ohne* sichtbare Staubbeutel aber *ohne* Frucht.

Es ist nicht ohne Interesse, dafs dieser Glimmer von demselben war, womit der Versuch mit Gerste angestellt wurde, der im vorigen Jahrgang dieser Annalen mitgetheilt ist.

D. Am 20. März. Versuch *ohne* Lepidolith *ohne* Glimmer, übrigens die Bodenmischung wie bei *B* aber mit Zusatz von

0,02 Milligrm. salpetersaurem Lithion,
0,01 » Chlor-*Rubidium*,
0,02 » Fluorkalium.

Die Vegetation war hier sehr *abnorm*, die Depression der Halmbildung verrieth sich, indem der Ansatz des *zweiten* Blattes längere Zeit in gleicher Höhe mit dem des *ersten* blieb; endlich trieb sie noch eine Art von Halm, *einen* Zoll lang und krumm, der aufhörte zu wachsen, als sich an seiner Spitze noch ein *fadenförmiges* drittes Blatt zeigte, und so blieb die Pflanze, bis am 28. April ihre Blätter abgestorben waren, worauf sich noch eine Spur von Nebentrieb am Wurzelknoten bildete; und so starb die Pflanze bei der sorgfältigsten Pflege.

E. Um über den Grund *des Absterbens* der Pflanze des vorigen Versuchs etwas zu erfahren, wurde — *ohne* die abgestorbene Pflanze herauszunehmen, *ein frisches* Sommerweizenkorn — eingelegt. Dieses Korn trieb eine schmächtige Pflanze, aber ihre Blätter und ihre Halmbildung war normal.

Sie wurde *fünf* Zoll lang, die Aehre war verkrüppelt und *ohne* Frucht.

Nachdem auch diese Vegetation beendigt war, wurden *die Wurzeln* der Pflanze *D*. und der Pflanze *E*. untersucht, wo sich fand, dafs die Wurzeln von *D*. sehr kurz waren, wogegen die von *E*. viel länger waren, so dafs sie den Boden des Gefäfses erreichten und an ihm festgewurzelt waren.

Die Erklärung ist wohl die, dafs die vorhergehende Pflanze *D*. den auf sie *nachtheilig* wirkenden Bodenbestandtheil, nebst dem *meisten* salpetersauren Kali, mit ihren Wurzeln so weit ausgesogen hatte, dafs der Rest des *unter diesen Umständen nachtheilig* einwirkenden Stoffes unschädlich war für die Pflanze *E*., und da die Pflanze *E*. nur mit destillirtem Wasser *ohne* Zusatz begossen wurde und der meiste Salpeter aus dem Boden verschwunden war, folg-

lich die Haupttriebfeder der Kraft fehlte, mufste ihr Halm schmächtig werden.

Ich halte das Chlor-Rubidium für den Stoff der nachtheilig auf *D.* gewirkt hat.

F. Am 25. März. Versuch *ohne* Rubidium und *ohne* Fluorkalium, im Uebrigen dieselbe Bodenmischung von *D.* wobei ich wiederholt bemerke, dafs das *Lithion* von Rubidium *gereinigt* war.

Diese Pflanze war bis zum *dritten* Blatt — gesund, im *vierten* Blatt stehend, starben alle Blätter an der Spitze ab, und das *fünfte* Blatt fing an zu erscheinen — aber *fadenförmig*. Die Stellung aller Blätter abnorm, die Halmbildung vollständig deprimirt. Zuletzt wurden die Blätter beinah purpurroth und so starb die Pflanze bei sorglichster Pflege.

Sollte hier die Ursache im Lithion zu suchen seyn, weil das Fluorkalium ihm fehlte?

G. Am 2. April. Versuch *ohne* Rubidium; die Bodenmischung wie bei *D.*, folglich mit
0,02 Milligrm. salpetersaurem Lithion; 0,02 Milligrm. Fluorkalium.

Hier wurde die Halmbildung *normal*, der Halm *neun* Zoll lang, mit kleiner Aehre

aber *ohne* Frucht.

H. Am 16. April. Versuch wo die Mischung *D.* folgende Abänderung erlitt:
0,01 Milligrm. salpeters. Lithion (rein); 0,01 Milligrm. Fluorkalium; 0,001 Milligrm. Chlor-Rubidium; 0,5 Milligrm. schwefelsauren Strontian.

Die Halmbildung war *normal* und *dreizehn* Zoll lang, die Aehre am 27. Juni ganz entwickelt, aber klein, ohne sichtbaren Staubbeutel

und *ohne* Frucht.

J. Am 18. April. Mit folgenden Abänderungen des Versuches *D.*:
0,01 Milligrm. salpeters. Lithion (gereinigt); 0,01 Milligrm. Fluorkalium; 0,01 Milligrm. Fluornatrium; 0,001 Milligrm.

Chlor-Rubidium; 0,01 Milligrm. Kupfervitriol; 1,0 Milligrm. Fluorcalcium; *ohne* Strontian:

Das Resultat, Halm, sieben Zoll langer Halm, Aehre verkrüppelt

ohne Frucht.

K. Am ersten Mai. Abänderung von *D.*

ohne Lithion; *ohne* Rubidium; *ohne* Strontian aber *mit* 0,01 Milligrm. Fluorkalium. Halm *sieben* Zoll, Aehre verkrüppelt

ohne Frucht.

L. Am 5. Mai. Abänderung von *D.*

ohne Lithion; *ohne* Rubidium; *ohne* Fluorkalium. Mit Zusatz von

1 Milligrm. Fluorcalcium; 0,01 Milligrm. Kupfervitriol.

Hier *starben* die drei ersten Blätter ab, als das dritte Blatt entwickelt war; dann folgte noch ein abnormes viertes, endlich noch ein fadenförmiges fünftes, und so *starb* die Pflanze, *drei* Zoll lang, nachdem noch *ein* zolllanger Nebentrieb den Schlufs gemacht hatte.

Hätte ich voraus gewufst, dafs *Lepidolith* zum Ziele führen würde, würde ich selbstredend ganz andere Versuche gewählt haben; so aber konnte ich nicht *vier* Monate lang die Jahreszeit verstreichen lassen, um ein unsicheres Resultat abzuwarten.

Aber jetzt ist die Bahn gebrochen.

Am 19. Januar 1864.

XI. *Ueber das Astro-Chromatoskop; von Hrn. A. Claudet.*

(*Compt. rend. LVIII, p.* 88.)

Was auch die Ursache des Funkeln der Sterne seyn möge, so ist doch gewifs, dafs die von den Sternen aus-

gehenden Strahlen sich während ihres langen und raschen Laufs durch den Himmelsraum zertheilen, wie wenn sie durch ein brechendes Mittel dispergirt wären, wodurch wir sie in rascher Aufeinanderfolge sehen.

Man kann die Dauer der von jedem Lichtstrahl auf der Netzhaut gemachten Empfindung bestimmen, wenn man das Bild auf der Netzhaut verschiebt. Arago hat sich in seiner »*Populären Astronomie*« mit dieser Aufgabe beschäftigt und mehre Mittel angegeben, das Bild des Sterns auf der Netzhaut zu entwickeln, indem er entweder das Objectiv, oder das Ocular des Fernrohrs rasch bewegt. Er glaubt die Bewegung des Oculars sey leichter zu bewerkstelligen. Mir schien es vortheilhafter, das Ocular im Centrum der Pupille zu halten und die Centrirung beider Gläser zu bewahren. Ich erzeuge daher auf der Netzhaut einen Kreis von dem Stern, indem ich dem Fernrohr eine Bewegung ertheile, vermöge welcher seine Axe einen Kegel beschreibt, dessen Scheitel mit dem Centrum der Pupille zusammenfällt. Um diese Bewegung zu bewirken, bringe ich das Fernrohr in eine konische Röhre. Das Ocular des Fernrohrs hat zum genauen Centrum das kleine Ende der konischen Röhre, während das Objectiv excentrisch gestellt ist, mittelst zweier Schrauben, die an den beiden Enden des Durchmessers der Basis des Kegels befestigt sind. Das Fernrohr kann so geneigt werden, dafs es verschiedene Grade von Excentricität annimmt, in solcher Weise, dafs, während der ganze Mechanismus die konische Röhre um ihre Axe dreht, die Axe des Fernrohrs sich in einer excentrischen Richtung um die Axe der Röhre drehe. Diese excentrische Bewegung ist eine solche, dafs das Licht eines jeden Sterns, welcher der Axe der äufseren Röhre entspricht, durch das Objectiv gebrochen und dispergirt wird, wie wenn das Objectiv ein Prisma wäre. Während dieser Umdrehung beschreibt dann das Bild des Sterns einen Kreis auf der Netzhaut proportional der Excentricität des Fernrohrs. Dieser Kreis nimmt verschiedene Farben an, welche durch ihre Aufeinanderfolge das Fun-

keln hervorrufen. Man bemerkt sogar dunkle Räume, welche die Farben trennen oder sie durchsetzen.

XII. *Ueber die Anfertigung astatischer Nadelpaare; von Dr. L. C. Levoir,*

Lehrer der Chemie am Polytechnicum zu Delft.

Seit Nobili's schöner Erfindung hat sich die Anwendung astatischer Nadeln zu verschiedenen Zwecken sehr vermehrt. Seine Methode zur Anfertigung derselben, die auch Du Bois-Reymond für seine höchst vollkommene Nadelsysteme angewandt hat, ist indefs eine sehr zeitraubende. Unlängst wollte ich nach der von Tyndall angegebenen Methode (***Heat considered as a mode of motion***), schwache Luftströmungen in einem grofsen Raum nachweisen, wozu es 20 Nadelpaare bedurfte. Bei Anfertigung derselben habe ich beobachtet, dafs man die Astasie viel leichter und sicherer erreicht, wenn man die zu starke Nadel auf Sandstein abschleift, als wenn man sie in entgegengesetzter Richtung mit einem kleinen Magnet streicht.

Delft den 2 Oct. 1864.

Gedruckt bei A. W. Schade in Berlin, Stallschreiberstr. 47.

1864. ANNALEN №. 11.
DER PHYSIK UND CHEMIE.
BAND CXXIII.

I. *Ueber Depolarisation*[1]; *von Dr. A. Kundt.*

Seit man die Erscheinungen der Polarisation des Lichtes kennt, ist man bestrebt gewesen, experimentell wie theoretisch festzustellen, wie das natürliche unpolarisirte Licht unter den mannigfachsten Bedingungen polarisirt werde, welche Veränderungen dasselbe in seiner Intensität und Ebene der Polarisation bei den verschiedensten Vorgängen erleide; sehr wenig jedoch hat man sich mit der Frage beschäftigt, auf welche Weise irgend wie polarisirtes Licht wiederum in natürliches unpolarisirtes zurückgeführt werden könne, und welches die Gesetze dieser Umwandlung seyen. Einzelne Versuche liegen hierüber freilich bereits vor, diese Versuche wurden aber nicht weiter verfolgt, wohl aus dem Grunde nicht, weil sich dieselben meist auf Reflexionen an rauhen Oberflächen bezogen, und mithin die Versuche nach der sehr variabeln Natur der reflectirenden Medien auch sehr verschieden ausfallen mochten, und sodann, weil die Erscheinungen, die man an rauhen Oberflächen beobachten kann, sich einer strengen theoretischen Untersuchung und Berechnung entziehen. Wenngleich man aber auf eine umfassende theoretische Behandlung der Erscheinungen der Depolarisation — so wollen wir im Folgendem immer, wie gebräuchlich, den Vorgang bezeichnen, wenn irgend wie polarisirtes Licht ganz oder zum Theil in natürliches übergeführt wird — verzichten mufs, so schien es doch nicht ohne Interesse, den Gegenstand einer eingehenderen experimentellen Untersuchung zu unterziehen.

1) Die Untersuchung wurde in dem vom Hrn. Professor Magnus zu Berlin geleiteten Laboratorium ausgeführt.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung werden im Folgenden in Kürze mitgetheilt werden.

Es giebt zwei Methoden, auf die wir überhaupt Licht vollständig oder theilweise zu polarisiren vermögen, einmal durch Reflexion oder Brechung, die unter bestimmten Winkeln erfolgen, und sodann durch Doppelbrechung. Es liegt nahe zu vermuthen, dafs man nun auch umgekehrt im Stande seyn mufs, auf diese beiden Weisen, durch Reflexion und Brechung oder andererseits durch Doppelbrechung das Licht zu depolarisiren. Wie alle die verschiedenen und veränderlichen Polarisationsebenen der einzelnen Strahlen eines Bündels natürlichen Lichtes durch Reflexion oder Brechung, oder aber durch den Durchgang durch einen doppelbrechenden Körper auf ganz bestimmte Polarisationsebenen zurückgeführt werden, so mufs auch umgekehrt ein polarisirtes Strahlenbündel durch Reflexionen oder Brechungen in verschiedenen Ebenen, und sodann auch durch Doppelbrechung der einzelnen Strahlen in verschiedenen, verschieden liegenden Krystallen, in natürliches, d. i. nach allen Richtungen polarisirtes Licht übergeführt werden können. Es wird nur darauf ankommen die einzelnen reflectirenden oder brechenden Flächen oder die einzelnen Krystalle hinreichend klein zu machen, so klein, dafs jeder einzelne Strahl des Bündels auf eine andere reflectirende oder brechende Fläche, oder auf einen andern Krystall fiele.

Eine solche Depolarisation des Lichtes durch Reflexion an sehr verschieden liegenden kleinen Flächen, also durch Zerstreuung des Lichtes, ist bereits seit langer Zeit bekannt. Dove [1]) wies nach, dafs das auf einen Bogen Papier oder eine weifse Wand senkrecht auffallende polarisirte Licht nach der Reflexion vollkommen depolarisirt sey. Ebenso weifs man bereits lange, dafs polarisirtes Licht beim Durchgang durch ein trübes, das Licht zerstreuendes Medium zum Theil oder ganz depolarisirt werde. Seitdem nämlich Arago zuerst bemerkt, dafs rauhe Oberflächen unter keinem Win-

1) Pogg. Ann. Bd. LXXI, S. 116.

kel das Licht vollständig zu polarisiren vermögten, dafs vielmehr die Polarisation an solchen Oberflächen immer nur theilweise sey, und als später mannigfach diese theilweise Polarisation untersucht wurde, — so noch in neuester Zeit von Brewster [1]) — wurde man sehr bald auch zu jener Constatirung der Depolarisation der rauhen Flächen geführt. Verfolgt wurden diese Untersuchungen aus den bereits oben angegebenen Gründen wenig, und so ist über das Speciellere der Depolarisation an verschiedenen Körpern und unter verschiedenen Bedingungen Wenig bekannt. Depolarisation aber durch Doppelbrechung — ich will gleich genauer sagen, durch Doppelbrechung sehr vieler kleiner, beliebig liegender Krystalle — ist überhaupt, so viel mir bekannt, nur ein einziges Mal beobachtet. Babinet fand nämlich, dafs wenn man Bergkrystalle zerstofse, das erhaltene Pulver, auch wenn es das Licht nicht zerstreut, dasselbe doch depolarisirt. Er sagt ferner, dafs Glaspulver ebenso wie jenes Pulver vom Bergkrystall depolarisire und endlich der Hyalith dieselbe Eigenschaft zeige.

Moigno führt diese Beobachtungen in seinem *Répertoire d'optique moderne T. I p.* 377 folgender Mafsen an:

Si l'on égrise un crystal de roche, c'est-à-dire, si on le réduit en poussière, en frottent deux aiguilles l'une contre l'autre, et qu'on mette cette poudre dans de l'huile pour lui rendre de la transparence, le mélange ne produit point la rotation, mais il dépolarise la lumière, qui le traverse. On obtient, du reste, le même resultat avec du verre pilé.

Das Gemenge von Oel und Pulver ist vollständig durchsichtig, so dafs also von einer Zerstreuung des Lichtes und dadurch hervorgebrachten Depolarisation nicht die Rede seyn kann. Babinet hat aber, wie man sieht, keine Erklärung der Erscheinung versucht und auch in Folge dessen die Allgemeinheit der Depolarisation bei allen doppelt brechenden Krystallpulvern nicht gefunden.

1) *Philosophical Magazin* 1863, *No.* 170. *On the polarisation of light by rough and white surfaces by Sir D. Brewster.*

Den Hyalith habe ich, da mir keine Platte, die grofs genug gewesen, zu Gebote stand, nicht untersuchen können.

Es sollen nun die Beobachtungen über die beiden verschiedenen Arten von Depolarisation genauer angegeben werden, und zwar wird zuerst die Depolarisation bei den sogenannten rauhen, das Licht zerstreuenden Medien behandelt werden.

Diese soll im Folgenden im Gegensatz zu derjenigen durch viele kleine Krystalle hervorgebrachten, bei der keine Zerstreuung des Lichtes stattfindet, immer als »*Depolarisation durch Zerstreuung*« bezeichnet werden, während jene als »*Depolarisation durch Doppelbrechung sehr vieler kleiner Krystalle*« oder kurz als »*Depolarisation durch Doppelbrechung*« angegeben werden wird.

I. Depolarisation durch Zerstreuung des Lichtes.

Bevor die Versuche selbst mitgetheilt werden, ist es nöthig einige allgemeinere Angaben vorauszuschicken.

Es ist bisher üblich gewesen unter rauhen Oberflächen mattgeschliffene Glastafeln, Kalkwände, Papier, Gewebe, Platten, auf die irgend ein Pulver gestreut war usw., zu verstehen; wir wollen im Folgenden unter *rauhen Oberflächen im engern Sinne* nur solche rauhe Flächen verstehen, die sich an Körpern befinden, die im Innern *vollkommen* durchsichtig sind.

Man wird eine rauhe Begränzungsfläche stets als aus ebenen Flächenelementen gebildet ansehen können. Sobald nun ein Strahl auf ein solches ebenes Flächentheilchen einfällt und der gebrochene Theil die für den Einfallswinkel geltende Richtung und Zustand der Polarisation angenommen hat, wird bei einer rauhen Oberfläche nach unserer Definition keine weitere Aenderung der Richtung oder Polarisation des Strahles beim weiteren Fortgang durch den Körper eintreten. Denkt man sich die eine Seite einer Glasplatte eben, und die andere als aus lauter kleinen nebeneinander liegenden Halbkugeln bestehend, so wäre das eine rauhe Oberfläche. Eine mattgeschliffene Glasplatte

wird dem ungefähr entsprechen. Ich habe noch auf eine andere Weise versucht eine solche der Definition entsprechende rauhe Oberfläche herzustellen.

Denkt man sich eine Menge kleiner glasheller Perlen in einer Ebene neben einander liegend, so wären das, abgesehen von dem Umstand, dafs die Perlen durchbohrt sind, gewissermafsen zwei über einander gelegte rauhe Oberflächen nach unserer Definition, indem man auf den beiden Seiten der durch die Mittelpunkte der Perlen gebildeten Ebene neben einander liegende durchsichtige Halbkugeln hat. Dafs man auf diese Weise zwei auf einander gelegte rauhe Oberflächen hat, ist für unsere späteren Betrachtungen nicht störend, es wird dadurch nur die Wirkung verstärkt. Man kann eine solche Ebene aus Perlen aber leicht erhalten durch blofses Aneinanderreihen mittelst eines dünnen Fadens, ohne die Perlen irgendwie auf ein Zeug zu befestigen.

Sodann werden wir in den Bereich der Untersuchung die sogenannten *durchscheinenden* oder *trüben* Körper ziehen. Unter denselben wollen wir hier nun solche Licht zerstreuende Platten verstehen, die an ihren Aufsenflächen vollkommen glatt, und die auch im Innern kein rauhes Gefüge verrathen, also auch gemeiniglich im Bruche glatt sind. Dahin gehört vor allen Dingen das sogenannte Beinglas. Auch Achat und eine Menge Mineralien zählen hierher. Diese durchscheinenden Medien haben die Eigenschaft, das Licht im Innern zu zerstreuen, welche Eigenschaft die rauhen Flächen nur an der Oberfläche haben. Ich möchte daher die durchscheinenden Körper der Analogie wegen auch am liebsten »*im Innern optisch rauhe Körper*« nennen.

Eine dritte Klasse von Körpern ist nun endlich diejenige, die die Eigenschaften der ersten beiden Klassen in sich vereinigt. Diese Körper, die wir *durchscheinende rauhe Oberflächen* nennen wollen, sind an der Oberfläche rauh und aufserdem durchscheinend. Gemeiniglich pflegen dieselben im Innern nicht eine so glatte Structur zu haben, wie die durchscheinenden Mittel. Sie sind meist körnig

oder faserig im Innern. Dahin gehören besonders Papier, Gewebe, Knochen, Kalkwände usw.

Es soll nun untersucht werden:

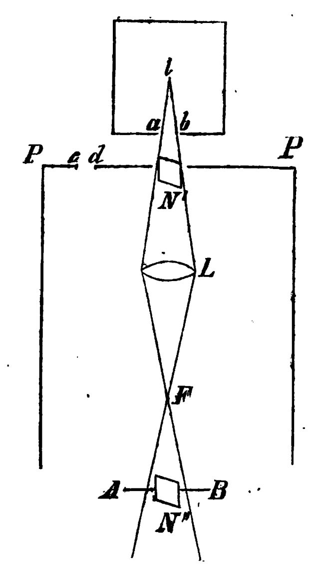
1) ob und wie die Körper der drei unterschiedenen Klassen geradlinig polarisirtes und senkrecht einfallendes Licht beim Durchgang durch dieselben depolarisiren;
2) ob die sämmtlichen Körper das senkrecht durchgehende Licht in derselben Weise wie das senkrecht reflectirte depolarisiren.

Ich bemerke hier im Voraus, dafs ich mich in dieser Untersuchung, auf die Betrachtung senkrecht durchgegangenen und senkrecht reflectirten Lichtes beschränkt habe. Wir werden unten die weiteren Fragen, die in Folge dieser Untersuchung sich besonders aufdrängen, angeben. Auch wird vorerst im Laufe der Untersuchung nur geradlinig polarisirtes Licht betrachtet werden, ich werde jedoch am Schlusse eine Uebersicht geben über die Resultate, die man erhält wenn man nicht geradliniges, sondern elliptisches oder circuläres Licht durch die zu untersuchenden Körper hindurchgehen oder von jenen reflectiren läfst; da die Resultate denen bei geradlinig polarisirtem Lichte ganz analog sind, so werden wir nur das geradlinig polarisirte Licht, als Repräsentanten des polarisirten Lichtes überhaupt, behandeln.

Die Versuche wurden anfangs mit dem Polarisations-Apparat, den Hr. Professor Dove angegeben [1]), angestellt, sodann aber ordnete ich, da es mir vortheilhafter erschien, die Versuche folgendermafsen an:

l (in nebenstehender Figur) sey das Licht einer möglichst intensiven Gas- oder Oelflamme, die in einem Kasten eingeschlossen ist und nur durch die kleine kreisrunde Oeffnung *ab* Strahlen senden kann. In einem gröfseren Pappschirm *PP* befand sich fest in einem Holzstückchen ein Nicol'sches Prisma *N*, dessen Polarisationsebene in der Ebene der Zeichnung liegen mag. Durch diefs geht der durch *ab* gegangene Strahlenkegel und wird hier geradlinig

1) Pogg. Ann. Bd. 35, S. 596.



polarisirt. L ist eine Linse von etwa 9'' Brennweite, die die durchgehenden Strahlen in F vereinigt. In AB befand sich nun ein Stativ, welches einen Metallring trug, in den entweder ein zweites Nicol'sches Prisma oder ein doppelt brechendes Prisma gesteckt und in demselben gedreht werden konnte. Befand sich sodann in AB der Nicol, den wir N' bezeichnen wollen, und wurde derselbe so gestellt, dafs die Polarisationsebene von N' und N'' 90° mit einander machten, so war das Gesichtsfeld, abgesehen von einigen kleinen Reflexen, die nicht wegzuschaffen waren, dunkel, und von dem leuchtenden Punkt F war Nichts sichtbar. Aufserdem befanden sich an den Seiten und oben Pappschirme PP, um alles zerstreute Licht abzuhalten. Gewöhnlich waren auch noch die Fenster des Zimmers verdunkelt. Diese Vorsichtsmafsregeln waren nöthig, da es sich zuweilen um sehr kleine Helligkeiten oder Helligkeitsunterschiede handelte, die das Auge, wenn es von fremdem Licht afficirt war, nicht unterscheiden konnte. In den Vereinigungspunkt F wurde nun senkrecht zu der Richtung lN'' der zu untersuchende Körper, der immer Plattenform hatte, gebracht. Zu dem Zweck befand sich hier ein Stativ, welches ein Stückchen Holz trug, an dem sich an jeder Seite zwei Messingfedern befanden; zwischen diese konnte die zu untersuchende Platte bequem geschoben und von ihnen festgehalten werden.

Wurde nun in F irgend eine Platte gebracht, während die Nicols N' und N'' gekreuzt waren, und wurde dann durch das Einschalten der Platte das Gesichtsfeld erhellt,

so zeigte diefs an, dafs eine Aenderung des Polarisationszustandes des Lichtes beim Durchgang eingetreten sey. Es war dann nöthig, diese Aenderung genauer festzustellen.

Das Drehen der Platte selbst liefs sogleich erkennen, ob die etwa eingetretene Aenderung der Polarisation in jeder Lage der Platte dieselbe sey oder sich mit dem Azimuth derselben ändere. Nur im ersten Falle, wenn die Platte in jedem Azimuth und auf jeder Stelle der Platte die Polarisation des hindurchgehenden oder — was wir später besprechen wollen — reflectirten Lichtes in gleicher Weise modificirt, findet eine wirkliche Depolarisation statt. Um die Art dieser Depolarisation nun genauer zu untersuchen, wurde folgendermafsen verfahren:

Angenommen, das Gesichtsfeld werde bei den gekreuzten Nicoln durch Einschalten einer Platte erhellt. Dreht man nun den Nicol N'', so kann entweder das Gesichtsfeld constant gleich hell bleiben, oder es können, bei Drehung von N'' um 360°, zwei Maxima und zwei Minima der Helligkeit eintreten. Im ersten Falle wäre nun das durch die Platte hindurchgegangene Licht entweder in natürliches unpolarisirtes oder in circulares verwandelt. Im zweiten Falle entweder in theilweis polarisirtes Licht oder in elliptisch polarisirtes.

Dafs in unseren sämmtlichen Untersuchungen das hindurchgegangene Licht immer in natürliches unpolarisirtes oder in theilweis geradlinig polarisirtes Licht umgewandelt worden, wurde auf folgende Weise festgestellt:

Stellte man einen Polarisations-Apparat, wie derselbe vom Hrn. Professor Dove angegeben, so ein, dafs derselbe in einem eingeschalteten Krystall, etwa einer senkrecht zur Axe geschnittenen Kalkspathplatte die Farbenringe mit schwarzem Kreuz zeigt, und bringt dann zwischen den vorderen Nicol und die Kalkspathplatte, die zu untersuchende Platte, von der man also bereits weifs, dafs sie depolarisire, so giebt die Veränderung oder Nichtveränderung der Farbenzeichnung der Kalkspathplatte bekannt-

lich ein sehr einfaches Mittel zu entscheiden, welcher Art die Depolarisation ist.

Bleibt die Zeichnung — die Ringe mit dem schwarzen Kreuz — unverändert und sind nur schwächer geworden, so ist das aus der Platte austretende Licht bekanntlich theilweise polarisirt. Verschwindet die Zeichnung ganz, so ist das Licht vollkommen depolarisirt, also natürliches Licht.

Ist das Licht elliptisch polarisirt, so mufs sich das schwarze Kreuz zu einer Hyperbel öffnen, ist dasselbe aber circular polarisirt, so mufs das schwarze Kreuz ganz verschwinden, und die farbigen Kreise in der bekannten Weise in den Quadranten sich verschieben.

Diese letzten Erscheinungen fanden bei geradliniger Polarisation und Analyse nie statt, sondern die farbige Zeichnung des Kalkspaths war entweder ganz verschwunden oder nur schwächer geworden. Man konnte sich bei fast allen Platten hiervon sehr genau überzeugen. Wir werden bei der Angabe der Beobachtungen noch jedes Mal das Nöthige speciell erwähnen.

Aufser dem durchgegangenen Licht wollen wir aber auch das von den Platten reflectirte Licht untersuchen. Zu dem Zweck befindet sich in dem vorderen Pappschirm ein kleines Loch *cd*, vor dem ebenfalls ein Stativ stand mit einer Fassung, in die ein Nicol oder ein doppeltbrechendes Prisma gesteckt und gedreht werden konnte. Ob Depolarisation vorhanden, wurde nun wieder einfach durch Erhellung des Gesichtsfeldes bei gekreuzten Nicols untersucht; und welcher Art diese Depolarisation sey, davon überzeugte ich mich gewöhnlich, da mir diefs praktisch am bequemsten war, durch ein Gypsblättchen, das ich zwischen die zu untersuchende Platte und den Nicol, der sich vor dem Auge befand, schob.

Ich werde aber nicht blofs die Polarisation verschiedener Körper constatiren und angeben, welcher Art diese Depolarisation ist, sondern ich habe auch versucht, wenigstens annähernd den Grad der Depolarisation zu geben,

d. h. zu bestimmen, wie viel von dem hindurchgegangenen oder reflectirten Lichte depolarisirt und wie viel noch in seiner ursprünglichen Polarisation verblieben.

Die Angaben darüber wurden, da exacte photometrische Messungen für den beabsichtigten Zweck all zu umständlich erschienen, auf die einfachste bekannte Weise erhalten. An Stelle des vor dem Auge befindlichen Nicols wurde ein doppeltbrechendes Prisma gesetzt und nun das Intensitäts-Verhältnifs der beiden Bilder des Punktes *F* geschätzt, wenn das eine der Bilder sein Maximum der Helligkeit, das andere sein Maximum der Dunkelheit hatte. Dieses Intensitäts-Verhältnifs ist in unseren folgenden Beobachtungen, so gut es ging, mit den Worten »stark depolarisirt,« »wenig depolarisirt« usw. wiedergegeben.

Dafs ich mich überall zur Bestimmung, ob Depolarisation vorhanden oder nicht, eines Nicols bediente und nicht sogleich eines doppeltbrechenden Prismas, hat seinen Grund darin, dafs zur blofsen Bestimmung jener Frage, besonders dann, wenn die Depolarisation sehr gering, ein Nicol mir praktischer zu seyn schien.

Der Gang der Versuche ist also kurz der: Zuerst wurde mit Hülfe des Nicols vor dem Auge entschieden, ob eine Platte überall das hindurchgegangene oder reflectirte Licht depolarisire, sodann wurde in einem Dove'schen Polarisations-Apparat mittelst einer Kalkspathplatte oder eines Gypsblättchens entschieden, welcher Art die Depolarisation sey. Endlich wurde durch das Intensitäts-Verhältnifs der beiden Bilder beim Betrachten durch ein doppeltbrechendes Prisma der Grad der Depolarisation bestimmt.

a) Versuche mit rauhen Oberflächen.

Wie schon oben angegeben, liefs ich durch möglichst dichtes regelmäfsiges Aneinanderreiben von klaren Perlen Platten herstellen, die unserer Definition einer rauhen Oberfläche möglichst entsprächen.

Aufserdem wurden mattgeschliffene Glastafeln angewandt; eine Glastafel auf die *Semen Lycopodii*, und eine

Glastafel, auf die ganz reiner durchsichtiger Quarzsand gestreut war.

Folgende kleine Uebersicht giebt die Resultate dieser Versuche an:

	Durchgelassenes Licht.	Reflectirtes Licht.
Platte von kleineren Perlen [1])	theilweise Depolarisation	beinahe vollständig depolarisirt
Platte von gröfseren Perlen [1]).	theilweise Depolarisation	noch stärker depolarisirt
Eine mattgeschliffene Glastafel	gar nicht depolarisirt	Depolarisation eben sichtbar
Vier über einander gelegte	Depolarisation eben sichtbar	stärker depolarisirt
Glasplatte mit *Semen Lycopodii* [2])	sehr wenig depolarisirt	stark depolarisirt
Glasplatte mit Quarzsand [2])	wenig depolarisirt	etwas mehr depolarisirt

Sowohl das durch die Platten hindurchgegangene, wie reflectirte Licht, zeigten bei Untersuchung mittelst Gypsblättchen oder Kalkspathplatten theilweise Polarisation.

Wir haben *Semen Lycopodii* mit hierher gestellt, wenn jedes Körnchen auch nicht ganz durchsichtig ist, da es sich in der That wie die anderen Körper verhält; rührt man dasselbe mit etwas Gummi an und streicht es dann auf eine Platte, so verhält es sich wie die Platten der nächstfolgenden Klasse.

Das Resultat aber, welches wir aus unserer Tabelle ziehen können, ist folgendes:

1) Man mufste hier wie bei den Platten mit *Semen Lycopodii* und Sand das Auge etwas aus der senkrechten Richtung entfernen, da sonst das durch die Zwischenräume der Perlen und Körnchen gegangene Licht, welches polarisirt war, störte.

2) Wurde nur in dünner Schicht aufgestreut.

Die rauhen Oberflächen depolarisiren im Allgemeinen das Licht nie vollständig; es ist aber das von ihnen reflectirte Licht stärker depolarisirt als das durchgelassene.

Ohne für jetzt näher auf diefs Resultat einzugehen, wollen wir erst die übrigen Versuche mittheilen.

b) Versuche mit den durchscheinenden Medien.

Als durchscheinende Medien wurden angewandt: Beinglas, Achat, einige andere Mineralien, sodann wollen wir hierher rechnen, da man bei ihnen von einer rauhen Oberfläche, wie bei den Körpern der vorhergehenden Abtheilung doch nicht reden kann, glatte Elfenbeinstücke, Knochen, glatte Papiere, glatte Oblaten usw.

Bei allen war das durchgelassene wie das reflectirte Licht vollkommen depolarisirt. Die Untersuchung mittelst einer Kalkspathplatte ergab natürliches, nicht circulär polarisirtes Licht.

Bei dem reflectirten Licht mufs man natürlich von dem an der vorderen Fläche direct gespiegelten absehen, welches polarisirt blieb, und man wird daher besser sagen:

Bei den durchscheinenden Körpern ist das im Innern durch Zerstreuung entstandene Licht stets vollkommen depolarisirt.

c) Versuche mit den rauhen durchscheinenden Körpern.

Aus der Reihe dieser Körper wurden angewandt verschiedene Gewebe, und zwar

No. 1 weifses Gewebe
No. 2 blaues Seidengewebe
No. 3 schwarzes Seidengewebe
} von ziemlich gleicher Dichte,

ferner verschiedene Schreibpapiere, verschiedene in dichteren Schichten zwischen Glasplatten gebrachte weifse Pulver, endlich eine Reihe dunkler rauher Körper, für die eigentlich, da sie nicht durchscheinend sind eine neue Klasse hätte gebildet werden müssen. Wir haben sie der Einfachheit wegen hier zusammengestellt. Es sind: Rufs,

schwarzes rauhes Papier, Schiefer, Sammet, eine Stahlfeile. Die folgende Tafel giebt so kurz wie möglich die Resultate.

	Durchgelassenes Licht	Reflectirtes Licht
Gewebe No. 1	vollständig depolarisirt	vollständig depolarisirt
Gewebe No. 2	[1])	nur sehr wenig depolarisirt
Gewebe No. 3	[1])	gar nicht depolarisirt
Papier	vollständig depolarisirt	vollständig depolarisirt
Weiſse oder helle Pulver	vollständig depolarisirt	vollständig depolarisirt
Ruſs [2])		depolarisiren das reflectirte Licht nur sehr wenig oder gar nicht
Schwarzes rauhes Papier [2])		
Schiefer [2])		
Sammet [2])		
Stahlfeile [2])		

Die Resultate, die wir aus dieser Tabelle ziehen können, sind:

1) *die weiſsen rauhen durchscheinenden Körper depolarisiren das durchgelassene wie reflectirte Licht eben*

1) Lieſsen nur durch die kleinen Lücken des Gewebes Licht, welches natürlich polarisirt blieb.

2) Durchgelassenes Licht konnte bei diesen Körpern nicht vorhanden seyn; im reflectirten Licht zeigte sich aber sehr deutlich ein heller Fleck, der beim Drehen des Nicols ganz sichtlich verschwand.

so wie die gewöhnlich durchscheinenden Körper (Beinglas) vollständig;

2) *dunkle rauhe Körper depolarisiren das reflectirte Licht wenig oder gar nicht.*

Aus der Verbindung dieser beiden Sätze folgt aber alsbald der interessante Schlufs:

dafs die Depolarisation, die ein Bogen Papier oder eine weifse Wand ausübt, viel weniger ihren Grund darin hat, dafs die Oberflächen dieser Körper rauh sind, als vielmehr darin, dafs dieselben innerlich Licht reflectiren, wodurch sie eben ihre weifse Farbe haben.

Ich konnte mich hiervon sehr scharf überzeugen, indem ich zuerst ein Stück Fliefspapier in den Brennpunkt der Linse brachte; das reflectirte Licht war dann vollständig depolarisirt. Schwärzte ich nun dasselbe Stück Papier, so zeigte es fast keine Spur von Depolarisation, obgleich es noch ziemlich viel Licht reflectirte.

Die Untersuchung ergab übrigens wieder, dafs die Depolarisation immer natürliches oder theilweis polarisirtes Licht hervorbrachte.

Wir werden nun versuchen müssen, aus den einzelnen gegebenen Resultaten einige allgemeine Schlüsse zu ziehen, um, so weit es möglich, die angegebenen Erscheinungen zu erklären.

Fürs Erste ist klar, dafs wir die rauhen Oberflächen (Perlenplatten, mattgeschliffenes Glas) von den übrigen Körpern werden sondern müssen; wir werden bei ihnen, um die Erscheinung zu erklären, zu nichts Anderem greifen dürfen, als zu der einfachen Reflection und Refraction durchsichtiger Körper. Aus der Reflection und Refraction des einfallenden Lichtes werden wir die Thatsache erklären müssen, dafs das reflectirte Licht stets stärker depolarisirt ist, als das durchgegangene.

Man könnte aber versucht werden, die gedachte Erscheinung auf folgende Weise theoretisch festzustellen: Fällt ein Strahl polarisirtes Licht unter irgend einem Winkel auf einen durchsichtigen Körper und ist die Einfallsebene

unter irgend einem Winkel gegen die ursprüngliche Polarisationsebene geneigt, so ist durch theoretische Untersuchungen bekannt: erstens die Intensität des reflectirten und des gebrochenen Theils, zweitens die Winkel, die die neuen Polarisationsebenen dieser Strahlen mit der ursprünglichen machen. Bei dem sämmtlichen Licht, welches auf eine einzige Perle der Perlenplatte fällt, hat nun der Einfallswinkel und die Einfallsebene alle beliebigen Lagen. Zerlegte man nun allgemein die Intensität eines reflectirten Strahles in zwei Strahlen, die in der Richtung der ursprünglichen Polarisation und senkrecht dazu polarisirt sind und suchte durch Integration nach jenen beiden Variablen die Gesammt-Intensität der Strahlen, die in jeder dieser beiden Richtungen schwingen, so hätte man durch das Verhältnifs der beiden das Maafs der theilweisen Polarisation des reflectirten Lichtes. Dasselbe könnte man auch mit dem durchgegangenen Lichte machen und sein Maafs der Polarisation suchen. Durch die Vergleichung dieser beiden Maafse der Polarisation würde man dann erkennen, ob das durchgegangene Licht in der That weniger depolarisirt seyn mufs, als das reflectirte.

So annehmbar eine solche Untersuchung auf den ersten Anblick aber auch scheinen mag, so ist sie doch nicht anwendbar; denn erstens umfafst dieselbe zugleich *alles* reflectirte oder *alles* gebrochene Licht, während, wenn man senkrecht auf die Platte sieht, doch nur hauptsächlich das Licht ins Auge gelangt, welches in dieser Richtung reflectirt oder gebrochen wird; zweitens aber würde die Untersuchung alles doppelt reflectirte Licht, sowohl das, welches nach einmaliger Reflection noch einmal an den umliegenden Kugeln, wie dasjenige, welches an der Rückwand der Platte oder der Kugel reflectirt wird, nicht mit umfassen.

Wir werden uns daher mit folgender Betrachtung, die aber das Wesen der Erscheinung sehr gut veranschaulicht, begnügen müssen.

Fällt das Licht senkrecht auf eine rauhe Oberfläche, die aus lauter nebeneinanderliegenden durchsichtigen Halb-

kugeln besteht, so wird das durchgegangene Licht, welches man in der Richtung der auffallenden Strahlen sieht, hauptsächlich aus dem bestehen, welches auf die Kuppen der Halbkugeln fällt; das reflectirte Licht hingegen hauptsächlich aus demjenigen, welches in die Vertiefungen fällt, und hier noch ein oder mehrere Male reflectirt wird. Da diese Strahlen unter einem sehr grofsen Einfallswinkel auffallen, geht wenig von denselben hindurch. Aufserdem aber enthalten das durchgehende wie das reflectirte Licht noch Strahlen, die im Innern reflectirt sind.

Ist das auffallende Licht nun geradlinig polarisirt, so wird das durch die Scheitel der Halbkugeln gegangene in seiner Polarisation nach den bekannten Gesetzen wenig geändert, also die Gesammtheit des durchgegangenen Lichtes nicht sehr stark depolarisirt seyn. Das reflectirte hingegen, welches meist mehr als einmal zwischen den Halbkugeln reflectirt ist, wird viel mehr in seiner Polarisation geändert werden. — Was hier von den Kugeln gesagt, gilt aber allgemein von den rauhen Oberflächen. — Man kann die Sache auch so ausdrücken: Fällt polarisirtes Licht senkrecht auf eine gewöhnliche Glasplatte, so geht es zum gröfsten Theil hindurch und behält dabei seine Polarisation; es wird nur sehr wenig Licht reflectirt. Schleift man nun die eine Seite der Platte rauh, so findet man doch, auch wenn die Rauheit ziemlich bedeutend ist, dafs noch immer viel mehr Licht hindurchgeht, als reflectirt wird. Man überzeugt sich hiervon leicht, wenn man auf eine mattgeschliffene Glastafel mit einer Linse das Bild eines Fensters entwirft und diefs im reflectirten und durchgelassenen Lichte betrachtet.

Das Licht aber, welches nun von der rauh gemachten Fläche reflectirt wird, werden wir, da die Fläche, als sie glatt war, wenig zurückwarf, beinahe ganz auf Rechnung der Unebenheiten schieben, und da diefs Licht also nach allen möglichen Richtungen reflectirt ist, wird es auch nach allen möglichen Richtungen polarisirt, also stark depolarisirt seyn. Das durchgegangene Licht ist jetzt auch zerstreut,

aber doch durchaus nicht ganz. Da jedem durch Reflection zerstreutem Strahl doch auch nur ein durch Brechung zerstreuter Strahl zugehört, so ist von dem durchgelassenen Licht im Allgemeinen doch auch nur so viel zerstreut, als die Intensität des gesammten reflectirten Lichtes beträgt. Den Ueberschufs der Intensität des durchgelassenen Lichtes werden wir als regelmäfsig durchgegangenes ansehen müssen, dem also auch seine ursprüngliche Polarisation verblieben ist. Daher ist das durchgegangene Licht weniger depolarisirt, als das reflectirte.

Was nun bei den rauhen Flächen nur an der Oberfläche vorgeht, das geht bei den anderen zerstreuenden Körpern, den durchscheinenden rauhen Oberflächen (Papier, Gewebe) und den trüben Mitteln (Beinglas) nicht blos in der Oberfläche, sondern auch in den inneren Schichten vor. Sobald das Licht die erste sehr dünne Schicht dieser Körper durchdrungen, wird wieder ein Theil reflectirt, der natürlich depolarisirt ist. Sobald nun soviel Licht aus dem Innern reflectirt ist, dafs das reflectirte und durchgegangene ungefähr gleiche Intensität haben, wird beim durchgelassenen die Depolarisation vollständig seyn. Wird weniger durchgelassen als reflectirt, so bleibt natürlich vollkommene Depolarisation beim durchgegangenen wie reflectirten Licht. In irgend dickeren Schichten lassen nun im Allgemeinen die rauhen, durchscheinenden und trüben Mittel gleich viel oder meist noch weniger Licht durch, als sie reflectiren, so dafs also in jedem Falle vollständige Depolarisation stattfindet.

Es ist so eben gesagt, dafs die Zerstreuung, die bei den rauhen Flächen nur an der Oberfläche stattfindet, bei den rauhen durchscheinenden und den durchscheinenden trüben Körpern im Innern vorgehe. Bei den rauhen durchscheinenden Körpern (Papier, Gewebe, Pulver) ist der Vorgang leicht einzusehen. Diese Körper haben meist eine körnige oder faserige Structur und zeigen sich im Innern ebenso rauh als an der Oberfläche. Ein Lichtstrahl, der also die erste Schicht durchdrungen hat, wird von irgend

einem Körnchen oder Faserchen der zweiten Schicht reflectirt usw. Wie aber bei den durchscheinenden Körpern (Beinglas) eine solche Zerstreuung im Innern vor sich gehe, da sie doch im Bruche vollständig glatt sind, darüber müssen wir uns hier des Urtheils enthalten, und die Zerstreuung im Innern als ein durch den Augenschein bewiesenes Factum annehmen.

Was wir bisher über die Depolarisation des zerstreuten Lichtes gesagt haben, führt uns aber sogleich noch auf die Erklärung der Erscheinung, dafs dunkle rauhe Oberflächen das Licht viel weniger depolarisiren als weifse und der bekannten Thatsache, dafs wenn polarisirtes Licht sehr schief auf eine weifse Wand auffällt, dasselbe nur sehr wenig depolarisirt wird.

Zur Erklärung dient die folgende Betrachtung:

Wir haben oben gesagt, dafs das Licht, welches von einer matten Glastafel senkrecht reflectirt wird, beinahe ganz auf Rechnung der Unebenheiten zu schieben sey. Es ist klar, dafs wir von dem gesammten von einer rauhen Glastafel reflectirten Lichte so viel als sie reflectiren würde, wenn sie eben wäre, nicht als zerstreutes, sondern als *regelmäfsig zurückgeworfenes* Licht betrachten müssen. Diefs wird denn auch seine ursprüngliche Polarisation behalten haben.

Nun wird bei senkrechter Incidenz auf eine Glasplatte diefs Licht gegen das zerstreute verschwindend seyn; fällt dagegen das Licht schief auf, so nimmt bei einem glatten Körper die Intensität des reflectirten Lichtes mit der Gröfse des Einfallswinkels zu, also wird mit schieferer Incidenz auf einer rauhen Oberfläche der Antheil des regelmäfsig zurückgeworfenen Lichtes gegen das zerstreute zunehmen. Da diefs regelmäfsig zurückgeworfene Licht, wenn das auffallende polarisirt war, ebenfalls immer polarisirt ist, so mufs dadurch, dafs diefs polarisirte Licht zu dem unpolarisirten zerstreuten kommt, die Depolarisation des Gesammtlichtes um so viel geringer werden.

Da ich mich, wie bereits im Anfange gesagt, in dieser

Untersuchung, um nicht zu weit zu greifen, auf senkrecht einfallendes Licht beschränken mufste, so bleibt es für die Zukunft noch zu untersuchen, ob die Abnahme der Depolarisation bei schiefer Incidenz wirklich der Zunahme des regelmäfsig reflectirten Lichtes entspricht.

Die Erscheinung, dafs ein rauher Körper, je nachdem er weifs oder dunkel ist, das reflectirte Licht mehr oder weniger depolarisirt, ist in der That sehr überraschend. Die Erklärung ist aber nach dem Bisherigen nicht schwer zu geben. Wenngleich bei einer ebenen Glasplatte von senkrecht auffallendem Licht sehr wenig reflectirt wird, so können doch andere Körper bei senkrechter Incidenz bedeutend mehr Licht reflectiren, z. B. das Quecksilber etwa die Hälfte des auffallenden Lichtes. Fällt nun auf einen rauhen dunklen Körper senkrecht geradlinig polarisirtes Licht, so wird *nur an der Oberfläche* Licht reflectirt und diefs Licht besteht aus regelmäfsig reflectirtem und zerstreutem Licht. Sobald nun das *regelmäfsig reflectirte Licht das zerstreute an Intensität stark übertrifft, wird sich auch keine Depolarisation zeigen.* Ist jedoch derselbe rauhe Körper weifs, so reflectirt nicht blos die Oberfläche, sondern auch die inneren Schichten Licht. Diefs Licht ist immer zerstreut und depolarisirt, und da es aus sehr vielen inneren Schichten reflectirt ist, wird es das an der Oberfläche regelmäfsig zurückgeworfene an Intensität übertreffen, und daher nun auch das depolarisirte Licht das polarisirte bedeutend überwiegen, mithin die Gesammtintensität fast vollständig depolarisirt seyn.

Eine Frage, die sich hieran anschliefst, und die der ferneren Untersuchung vorbehalten bleiben mufs, ist: ob nun nicht auch das Umgekehrte stattfindet, also das Licht, welches eine weifse rauhe Oberfläche nur theilweise polarisirt, dieselbe rauhe Oberfläche, wenn sie schwarz ist, nicht stärker polarisiren würde?

Es wurde oben angegeben, dafs die zu untersuchenden Platten immer in den Brennpunkt F gehalten werden sollten, so dafs die Zerstreuung des Lichtes auf der Platte

auch nur in diesem einen Punkt stattfand. Entfernt man nun aber die Platte aus *F*, indem man sie entweder dem Auge nähert oder von demselben entfernt, so wird alsdann eine ganze Kreisfläche der Platte von den Strahlen getroffen, und dieselben mithin auf diese Weise durch die ganze Kreisfläche zerstreut. Ist nun diese Kreisfläche bei geringer Entfernung aus *F* irgend bedeutend, d. h. sind die Lichtstrahlen ziemlich divergent, so wird damit die Lichtintensität eines jeden Punktes des erleuchteten Kreises sehr schnell abnehmen, so dafs bei den bisher betrachteten Platten mit Entfernung derselben aus *F* die Intensität des durchgehenden zerstreuten Lichtes sehr bald Null wird, also das Gesichtsfeld dunkel wird. Es ist diefs aber kein Aufhören der Depolarisation der Platte, sondern nur eine Abnahme der Intensität des Lichtes. Eine *durchsichtige, nicht zerstreuende* Platte dagegen wird, wenn sie etwa durch Depolarisation den Punkt *F* erkennen läfst, ihn mit derselben Intensität erblicken lassen, mag man sie in *F* selbst oder an irgend einer andern Stelle halten. Diefs ist nun in der That der Fall mit den Platten die jetzt betrachtet werden sollen, dieselben sind ganz durchsichtig, und es ist mithin auch für die Depolarisation und Intensität gleich, an welcher Stelle der Strahlen sie sich befinden.

Gerade diefs verschiedene Verhalten der Platten in den divergirenden Strahlen giebt ein directes Unterscheidungsmittel der beiden Arten der Depolarisationen. Wenn man auch mit den blofsen Augen sehen kann, ob eine Platte Licht zerstreut oder nicht, so mufste doch dem Einwand, dafs die jetzt zu betrachtende Depolarisation auch nur durch Zerstreuung hervorgebracht werde, direct entgegnet werden können, und diefs geschieht durch das so eben angegebene verschiedene Verhalten der depolarisirenden Platten.

II. Depolarisation durch Doppelbrechung sehr vieler sehr kleiner Krystalle.

Die Herstellung solcher Schichten kleiner Krystalle, die das Licht wirklich gut depolarisiren, ohne irgendwie das

Licht zu zerstreuen, hat einige Schwierigkeiten. Es müssen erstens die Krystalle in der That sehr klein seyn, dann müssen sie möglichst gleichmäfsig neben einander liegen und endlich mufs die ganze Schicht möglichst wenig rauh oder trübe seyn.

Ich habe solche Platten auf zweierlei Weisen hergestellt:

1. Von den zu untersuchenden krystallinischen Körpern machte ich eine möglichst verdünnte Lösung. Von dieser wurden einige Tropfen auf eine gut gereinigte 4 □Zoll grofse Glasplatte gegossen und nun liefs man sie auskrystallisiren. Bei den wenigsten Lösungen aber wurden, wenn man sie ruhig auskrystallisiren liefs, die Krystalle so klein, dafs sie die Erscheinungen zeigten. Die Krystallisation mufste durch Erhitzen über einer Flamme möglichst beschleunigt werden, so dafs sich nur kleine Krystalle bildeten. In manchen Fällen half auch diefs noch nichts und ich mufste während des Erhitzens ganz leise mit dem Finger auf der Platte herumrühren.

Durch ein langes Probiren erhielt ich endlich Platten, die nur mit einem leisen Hauch von Krystallen überzogen schienen und doch das Licht sehr gut depolarisirten. Bei einigen Lösungen reichte dagegen das einfache Auskrystallisiren ohne Erwärmung aus. Um die Platten sodann zu schützen, in einigen Fällen auch um ihnen das wenige zerstreute Licht zu nehmen, wurde etwas venetianischer Terpentin darauf getröpfelt, eine zweite gleichgrofse Glasplatte darauf gelegt und nun das Ganze an den Rändern luftdicht verklebt.

2. Die zweite Methode solche Platten darzustellen bestand darin, dafs ich den zu untersuchenden Krystall möglichst fein zerstiefs, so auf eine Glasplatte brachte, Terpentin darüber gofs und eine zweite Glasplatte darauf klebte.

Auf die erste Weise, durch Auskrystallisiren, wurden Platten hergestellt von:

salpetersaurem Uranoxyd,
schwefelsaurem Uranoxyd,

schwefelsaurem Kupferoxyd,
salpetersaurem Natron,
salpetersaurem Kali,

Als Krystallpulver wurde untersucht:

zerstoſsener Gyps,
» Bergkrystall,
» Doppelspath,
» Zucker.

Die sämmtlichen Platten lieſsen das Licht sehr gut durch und depolarisirten das auffallende Licht in jeder Lage der Platte, mochte man diese nahe N', in F, oder nahe N'' halten.

Wenn es richtig ist, daſs die Depolarisation dieser Platten durch die Doppelbrechung der unendlich kleinen Krystalle hervorgebracht wird, so ist es klar, daſs kleine Krystalle des regulären Systems keine Depolarisation hervorbringen können. In der That zeigt der Versuch:

daſs Schichten unendlich kleiner Krystalle des regulären Systems die auf die oben angegebene Weise hergestellt werden, keine Spur von Depolarisation zeigen.

Es wurden Platten untersucht von:

Chlornatrium,
Kali-Alaun,
Ammoniak-Thon-Alaun.

Die jetzt behandelte Depolarisation unterzieht sich viel leichter einer theoretischen Betrachtung als diejenige durch Zerstreuung, und zwar in folgender Weise. Man denke sich, daſs die Schicht der kleinen Krystalle nur eine einfache sey, d. h. daſs die Krystalle nur dicht nebeneinander in einer Ebene, nicht übereinander liegen. Diese ganze Schicht nehmen wir als eben und sehr dünn an, so daſs das Licht ohne jede Zerstreuung hindurchgeht. Die kleinen Krystalle liegen mit ihren optischen Axen nach allen beliebigen Richtungen gleichmäſsig vertheilt, und sollen so klein angenommen werden, daſs auf jeden gerade ein Lichtstrahl fällt. Nimmt man nun die Schwingungsebene der Strahlen des vordern Nicols (N') als Anfangsrichtung der

Winkelzählung, so dafs also die Schwingungsebene des zweiten Nicols (N'') das Azimuth 90° hat, und bezeichnet bei irgend einem der kleinen Krystalle den Winkel, den eine der Schwingungsebenen desselben mit der Anfangszählung macht mit v, die Amplitüde des auffallenden Strahles mit a, so wird der Strahl durch den kleinen Krystall in die beiden Strahlen

$$a \cos v \text{ und } a \sin v$$

zerlegt, die in den Azimuthen v und $90 + v$ schwingen. Zerlegt man jeden dieser beiden Strahlen, die unabhängig von einander schwingen, nach den Azimuthen 0 und 90°, so giebt der Strahl $a \cos v$ die Componenten:

$$a \cos v \cos v \text{ und } a \cos v \sin v;$$

der Strahl $a \sin v$ die Componenten:

$$a \sin v \sin v \text{ und } a \sin v \cos v.$$

Man hat also die Intensitäten:

$$\text{im Azimuth } 0^\circ \quad a^2 \cos^4 v + a^2 \sin^4 v,$$
$$\text{im Azimuth } 90^\circ \quad 2a^2 \sin^2 v \cos^2 v.$$

Diese Intensitäten giebt *ein* kleiner Krystall: will man die Gesammt-Intensität aller kleinen Krystalle umfassen, so ist nur v jeder beliebige Werth zu geben und das Integral jener Ausdrücke zu suchen.

v kann nun variiren von 0 bis 360°; wir brauchen aber die Gränzen nicht so weit zu nehmen, denn eine der beiden Schwingungsebenen des kleinen Krystalles wird immer durch den ersten Quadranten der Zählung gehen, und wir brauchen nur die Veränderung der Lage dieser zu betrachten, da von den beiden Schwingungsebenen keine einen Vorzug vor der andern hat. Man braucht mithin die Integrale nur in den Gränzen von 0 bis 90° zu nehmen; diese Integrale unterscheiden sich von den andern beiden nur um den constanten Factor 4. Man hat somit als Gesammt-Intensität der Strahlen im Azimuth 0

$$J = a^2 \int_0^{90} (\cos^4 v + \sin^4 v)\, dv;$$

und für die Strahlen im Azimuth 90:

$$J' = a^2 \int_0^{90} 2\sin^2 v \cos^2 v\, dv$$

Wäre nun J' also das zweite Integral, gleich Null, so wäre sämmtliches durchgegangene Licht noch polarisirt, es hätte also gar keine Depolarisation stattgefunden. Wäre $J = J^1$, so hätten wir rechtwinklig zu einander polarisirte Strahlen gleicher Intensität, also natürliches Licht, die Depolarisation wäre also vollkommen.

Beides ist nicht der Fall, man findet vielmehr, wenn man in den gegebenen Gränzen integrirt:

$$J = \tfrac{3}{8} a^2 \pi$$

und

$$J^1 = \tfrac{1}{8} a^2 \pi.$$

Man sieht J ist gröfser als J^1; das gesammte Licht, das wir nach zwei rechtwinkligen Richtungen zerlegt haben, hat also in diesen Richtungen nicht gleiche Intensität, ist also nicht natürliches Licht, sondern theilweise polarisirtes. Es könnte auch elliptisches seyn; dafs es diefs nicht ist, wird weiter unten angegeben werden.

$2J'$ ist die Intensität des natürlichen Lichts

$J - J'$ die Intensität des polarisirten, also

$\frac{J - J^1}{2J'}$ das Verhältnifs des polarsirten zum natürlichen, das Maafs der theilweisen Polarisation. Diefs ist $= 1$. Es ist mithin die Hälfte des einfallenden Lichtes nach dem Durchgang noch polarisirt, die andere Hälfte ist natürliches Licht, also depolarisirt. Diese letztere Deduction über das Maafs der Polarisation gilt jedoch nur, wenn das Licht, welches nach dem Durchgang noch polarisirt ist, auch noch in seiner ursprünglichen Ebene polarisirt ist, also in dem Azimuth 0° schwingt. Wäre das nicht der Fall, so könnte das Maafs der theilweisen Polarisation ein ganz anderes seyn.

Man kann sich nun aber experimentell durch das Drehen des Nicols N'' leicht überzeugen, dafs die Ebene der theilweisen Polarisation des durch die Krystalle gegange-

nen Lichtes mit der ursprünglichen Polarisationsebene zusammenfällt. Aufserdem sieht man beim Drehen, wenn die Schicht der Krystalle sehr dünn ist, dafs bei parallelen Nicoln das Gesichtsfeld mehr als doppelt so hell ist, als bei gekreuzten. Nach der strengen Rechnung müfste es drei Mal so hell seyn, in der einen Lage $\frac{3}{8}a^2\pi$, in der anderen $\frac{1}{8}a^2\pi$; doch man kann nie darauf rechnen, dafs man nur eine einzige Schicht neben einander liegender Krystalle habe; es werden auf den nach unserer Methode bereiteten Platten immer noch Krystalle auf einander liegen und das verstärkt, wie man weiter unten sehen wird, die Depolarisation. Will man auf die oben angestellte Rechnung über die Depolarisation nicht eingehen, so kann man sich den ganzen Vorgang leicht geometrisch veranschaulichen. Denkt man sich jeden auffallenden geradlinig polarisirten Strahl durch einen Krystall zerlegt, und alle diese Theilstrahlen um einen Punkt ihrer Richtung und Gröfse nach aufgetragen, so ist klar, dafs sich um das Azimuth 0 das des einfallenden Lichtes, die Strahlen mit den gröfsten Amplitüden schaaren, und die Intensität nimmt allmählich nach dem Azimuth 90° ab. Zerlegte man nun alle Strahlen nach den Azimuthen 0° und 90°, so ist klar, dafs die Gesammt-Intensität im Azimuth 0° viel gröfser seyn wird, als die im Azimuth 90°.

Eine gleichmäfsige Vertheilung der Lage der optischen Axen der kleinen Krystalle, wie wir sie angenommen, wird auch in der Wirklichkeit immer sehr annähernd vorhanden seyn, da beim Auskrystallisiren oder Aufstreuen eines Krystallpulvers keine Richtung einen Vorzug vor der anderen hat. Liegen mehrere Krystalle nach einer Richtung, so werden im Allgemeinen eben so viel Krystalle nach allen anderen Richtungen mit ihren Axen liegen und unsere Betrachtung wird dadurch nur um eine Constante geändert.

Fällt auf eine solche einfache Schicht, wie wir sie angenommen, natürliches Licht, so wird diefs ungeändert hindurchgehen. Für solches Licht kann man bekanntlich zwei rechtwinklig zu einander polarisirte Strahlen gleicher In-

tensität setzen. Jeder von ihnen würde nun in theilweis polarisirtes Licht umgewandelt werden, da aber das Maafs der theilweisen Polarisation bei beiden dasselbe und die Ebenen der theilweisen Polarisation senkrecht zu einander stehen würden, so bilden diese beiden Theile wieder natürliches Licht mit einander.

Besteht die krystallinische Platte nicht aus einer einzigen Schicht, liegen die Krystalle nicht blofs neben, sondern auch über einander, so kann man sich eine solche dickere Schicht doch in einfache Schichten zerlegt denken. Durch die erste einfache Schicht wird das auffallende polarisirte Licht in theilweis polarisirtes Licht verwandelt, also haben wir nach dem Durchgang durch diese erste Schicht zur Hälfte polarisirtes, zur Hälfte natürliches Licht, wie oben gezeigt. Auf das natürliche Licht hat der Durchgang durch die weiteren Schichten, wie oben angegeben, keinen Einflufs mehr. Das polarisirte Licht wird jedoch in der zweiten Schicht wieder zur Hälfte in natürliches verwandelt, und so fort in den nächsten Schichten, so dafs die Polarisation immer mehr abnimmt, und man somit durch eine dickere Schicht kleiner Krystalle eine fast vollständige Depolarisation des Lichtes erzielen kann.

Nachdem so eben die Theorie der Depolarisation durch Doppelbrechung erörtert, bleiben nun noch einige Einzelheiten und einige weitere Versuche zu betrachten.

Zuerst ist zu erwähnen, dafs eine Untersuchung mittelst der Kalkspathplatte oder eines Gypsblättchens dann, wenn die Platte wirklich gut hergestellt war, immer theilweise Polarisation des durchgegangenen Lichtes ergab, nicht eine elliptische. War die Platte nicht gut, d. h. waren die Krystalle nicht hinreichend klein und lagen sie nicht in der That mit ihren Axen gleichmäfsig nach allen Richtungen, zeigte sich also etwa eine sichtbare strahlige Krystallisation, dann verriethen die Platten an einzelnen Stellen elliptische oder auch circuläre Polarisation. Solche Platten entsprechen aber eben nicht den Anforderungen, die wir an die Anfertigung der Platten stellen.

Sodann ist zu bemerken, da das salpetersaure Uranoxyd sehr leicht verwittert, so ist es sehr schwer Platten mit demselben längere Zeit aufzubewahren. Aufserdem giebt es beim Erwärmen einen Theil seiner Säure ab und wird zu einem zähen Brei, von dessen nicht krystallinischer Beschaffenheit, auch wenn er auf der Glasplatte etwas antrocknet, man sich leicht dadurch überzeugt, dafs eine solche Platte keine Spur von Depolarisation zeigt. Man mufste die Lösung ruhig auskrystallisiren lassen, wodurch freilich die Krystalle etwas grofs wurden, doch zeigten sie die Depolarisation sehr gut.

Eine interessante Erscheinung bot das schwefelsaure Kupferoxyd dar. Liefs man diefs ruhig auskrystallisiren, so wurden die Krystalle bedeutend zu grofs; liefs man aber die Lösung unter schneller Erwärmung krystallisiren, so konnte man es bei hinreichend verdünnter Lösung dahin bringen, dafs die Krystalle so klein wurden, dafs auf der Platte nur ein ganz leiser bläulicher Hauch zu liegen schien, der mit blofsem Auge nichts Weiteres erkennen liefs. Unter dem Mikroskop selbst zeigte die Platte kaum einen Anflug von Krystallisation. Dieser zarte Ueberzug zeigte aber die Depolarisation durch Doppelbrechung sehr gut. Stand nun eine solche Platte, bevor sie mit Terpentin und einer zweiten Glasplatte bedeckt wurde, einige Zeit an der Luft, so begann sie allmählich sich zu verändern; man sah mit blofsem Auge auf derselben Kreisflächen sich bilden, die aus lauter kleinen Strahlen bestanden, die von den Mittelpunkten der Kreise ausgingen. Diese Erscheinung kann ihren Grund nun darin haben, dafs bei der starken Erwärmung der Platte beim Krystallisiren die kleinen Krystalle mit nicht so viel Wasser krystallisiren, als das schwefelsaure Kupferoxyd im gewöhnlichen Zustande enthält, und dafs diese kleinen Krystalle beim Stehen an der Luft das ihnen fehlende Wasser aus dieser aufgesogen und sodann in ihre gewöhnliche Form übergegangen sind. Ob die beiden Formen indentisch oder nicht, kann man nicht entscheiden, da diejenigen Krystalle, die man durch

Erhitzen erhalten, viel zu klein sind, um an ihnen, selbst unter dem Mikroskop, die Form zu erkennen. Wir können, gestützt auf die Depolarisation, nur sagen, dafs jener leise Hauch, den wir auf der Glasplatte sehen, krystallinisch ist, und dafs die kleinen Krystalle, wie die gewöhnlichen des schwefelsauren Kupferoxyds, doppeltbrechend sind.

Mit einigen Worten müssen wir jetzt noch auf die oben angeführten Beobachtungen Babinet's zurückkommen. Dafs die beim Pulver des Bergkrystalls beobachtete Depolarisation vollkommen unter die hier behandelte fällt, liegt auf der Hand. Die Thatsache, dafs Glaspulver ebenso wie Krystallpulver das Licht depolarisirt, habe ich bestätigt gefunden, doch ist diese Depolarisation nur sehr gering und scheint von der Art des angewandten Glases abzuhängen. Das Réaumur'sche Porzellan zeigt zerstofsen ebenfalls Depolarisation durch Doppelbrechung.

Da die Pulver nur dadurch die Depolarisation durch Doppelbrechung zeigen können, dafs die einzelnen Stückchen doppeltbrechend sind, so werden wir diese Eigenschaft nothwendig auch den kleinen Glassplitterchen zuertheilen müssen. Es kann nur gefragt werden, ob sie diese bereits in dem gröfseren Glasstück haben, also das Glas, aus dem das Pulver bereitet ist, in seinen kleinen Theilen doppeltbrechend ist, oder ob dem Pulver vielleicht erst durch den Druck des Zerstofsens diese Doppelbrechung zukommt. Es ist wohl anzunehmen, dafs beide Ursachen wirkend sind.

Die Depolarisation des Glaspulvers, wenn man es auf die oben angegebene Weise zwischen zwei Glasplatten bringt, ist aber nur sehr gering; ich habe eine andere Methode gefunden, mittelst deren man dem Glas eine sehr energische depolarisirende Kraft ertheilen kann. Erhitzt man ein Stückchen Glas stark, etwa in der Flamme eines Glasblasetisches, und taucht dann diefs erhitzte Glas schnell in Wasser, so wird es, wenn auch einzelne Stücke abspringen, doch nicht in lauter kleine Stückchen zerspringen. Die gröfseren Stücke sind aber von einer Menge von Ris-

sen durchzogen, und man erkennt bald, dafs sie eigentlich aus lauter kleinen Stückchen bestehen, die nur noch, da sie so eng in- und aneinander hängen, nicht auseinander fallen. Jedes kleine Stückchen ist aber durch die Abkühlung doppeltbrechend geworden und die Axen dieser Stückchen liegen nach allen möglichen Richtungen. Man hat also eine Platte aus lauter kleinen doppeltbrechenden Körperchen. Ein solches Stück Glas zeigt dann auch wirklich die Depolarisation durch Doppelbrechung sehr schön.

Bisher ist nur von dem Lichte gesprochen worden, welches durch die kleiner Krystalle hindurchgegangen; beobachtet man aber auf dieselbe Weise, wie oben bei den rauhen Oberflächen, das von einer krystallinischen Schicht senkrecht reflectirte Licht, so zeigt sich *diefs ebenfalls depolarisirt.*

Abgesehen von den Glasplatten, die bei uns in den meisten Fällen die krystallinische Schicht umgeben, und die wir unberücksichtigt lassen können, ist klar, dafs bei einer solchen krystallinischen Schicht auffallendes Licht an der Vorder-, und nachdem es die Schicht einmal durchdrungen, an der Hinterfläche reflectirt wird. Diefs von der Hinterfläche reflectirte Licht ist auf alle Fälle, da es ja durch die Platte gegangen, depolarisirt. Von dem an der Vorderfläche reflectirten Licht ist diefs nicht ohne Weiteres zu sagen, wenn dasselbe auch seine Polarisation ändert, so wird es doch kaum nach allen Seiten polarisirt werden.

Mag nun aber auch diefs an der Vorderfläche reflectirte Licht in der Einfallsebene oder nach allen Richtungen polarisirt seyn, so wird wegen der Reflection an der Rückseite das Gesammtlicht doch immer depolarisirt seyn.

Abgesehen davon, dafs die vorstehende Untersuchung der krystallinischen Körper theoretisch einiges Interesse bietet, indem sie zeigt, wie bei einer Kleinheit der Krystalle, die sie einzeln jeder optischen Untersuchung entzieht, dieselben in ihrer Menge der Untersuchung wieder zugänglich werden und zugleich das Gesetz dieser Gesammtwir-

kung kennen lehrt, scheint dieselbe auch von einigem practischen Nutzen seyn zu können.

1) Ist durch die Beobachtung der Depolarisation durch Doppelbrechung ein Mittel gegeben, bei einem Körper, der nur in sehr feiner Zertheilung, oder als ein Aggregat sehr kleiner krystallinischer Gebilde vorkömmt, und bei dem sich die Krystallform dem Auge, vielleicht selbst dem Mikroskop, entzieht, die krystallinische Beschaffenheit, freilich hier wie in den folgenden Angaben mit Ausschlufs des regulären Systems, nachzuweisen.

2) Giebt die Depolarisation durch Doppelbrechung ein sehr gutes Mittel bei einer Aenderung der irgend ein Krystall unterworfen wird, z. B. durch Abgeben von mehr oder weniger seines Krystallwassers, zu entscheiden, ob er bei dieser Aenderung krystallinisch bleibt, oder amorph wird.

3) Kann die Depolarisation durch Doppelbrechung in vorzüglichem Maafse dazu dienen, bei einem Körper, der in der That keine krystallinische Form hat, wie Glaspulver, oder die erhitzten zersprungenen Glasstücke, doch noch eine krystallinische Beschaffenheit, d. h. verschiedene Elasticität nach verschiedenen Richtungen nachzuweisen. Dafs ein Glaskörperchen in seiner Kleinheit doch noch nach den verschiedenen Richtungen verschiedene Elasticität hat, dürfte durch keine andere Methode, weder durch das Mikroskop oder sonst (auch sicher nicht durch Farben im Polarisations-Apparat) erkennbar seyn, als eben durch die oben angegebene Depolarisation.

Es bleibt uns nun nur noch, worauf wir oben verwiesen haben, übrig, anzugeben, welches die Erscheinungen sind, wenn das einfallende Licht nicht geradlinig, sondern elliptisch oder circular polarisirt wird, und wenn auch die Analyse nicht blofs geradlinig, sondern ebenfalls elliptisch oder circular geschieht. Diese Beobachtungen lassen sich mit dem Polarisations-Apparat vom Hrn. Professor Dove

sehr gut auf die bekannte Weise durch Vorlegen von Glimmerblättchen, die jedes gerade einen Gangunterschied von $\frac{1}{4}$ Wellenlänge für die beiden Strahlen in ihnen haben, und durch Einschalten einer Kalkspathplatte anstellen. Wir wollen nur kurz bei den verschiedenen Combinationen verschiedener Polarisationen und Analyse das Bild, welches die Kalkspathplatte zeigte, angeben.

Diese Bilder sind bei den krystallinischen Platten, da diese meist sehr durchsichtig sind, und die Depolarisation nie einen gewissen Grad übersteigt, sehr gut sichtbar; bei den rauhen und trüben Körpern ging oft nicht sehr viel Licht hindurch, und dann war auch oft die Depolarisation, wie oben angegeben, so vollkommen, dafs keine Farben erschienen. Mattes Glas, die Perlenplatten und die Platten mit Pulver etc. zeigten aber die Bilder sehr gut. Ebenso erschienen dieselben Bilder der Kalkspathplatte in dem von den Platten reflectirten Licht.

Aufserdem bleibt uns dann noch die Pflicht, den Zusammenhang der Depolarisation durch Doppelbrechung mit den interessanten Erscheinungen, die Hr. Prof. Dove im rotirenden Polarisations-Apparat beobachtet hat [1]), nachzuweisen.

Die Erscheinungen bei verschiedener Polarisation und Analyse sind kurz in den Satz zusammen zu fassen:

> *Die Depolarisation beim Durchgang durch rauhe und trübe Körper und durch Platten sehr kleiner doppeltbrechender Krystalle geschieht immer so, dafs ein Theil des Lichtes in natürliches umgewandelt wird, während der andere Theil seine ursprüngliche Polarisation behält. Dasselbe gilt von dem von den Platten reflectirten Licht.*

Also wie oben beim geradlinig polarisirten Licht theilweise geradlinige Polarisation eintrat, so zeigt das elliptische Licht eine Mischung von elliptischem und natürlichem, das circulare von circularem und natürlichem. Man sieht mithin bei geradliniger Analyse im ersten Falle die farbigen

1) Pogg. Ann. Bd. LXXI, S. 97; Farbenlehre, S. 212.

Ringe mit schwarzem oder weifsem Kreuz, im zweiten das Kreuz in die Hyperbeln geöffnet, im dritten endlich nur die Farbenringe ohne Kreuz, aber dieselben sind in der bekannten Weise in den Quadranten verschoben. Nur die Intensität der Bilder ist geringer, als ohne Einschaltung der zu untersuchenden rauhen, trüben oder krystallinischen Platte. Bei diesen letzten Platten, die aus lauter kleinen Krystallen bestehen, gilt aber das Gesagte nur dann, wenn die Platten wirklich gut sind, d. h. die Krystalle sehr klein und möglichst gleichmäfsig vertheilt sind. Ist diefs nicht der Fall, entsprechen eben die Platten nicht den theoretischen Anforderungen, so zeigen sie bei allen Arten von Polarisation an den verschiedenen Stellen und in den verschiedenen Lagen verschiedene Bilder.

Analysirt man nicht linear, wie so eben, sondern elliptisch oder circular, so ändert die Depolarisation eben so wenig die Bilder der Kalkspathplatte, dieselben werden nur schwächer, oder verschwinden bei vollkommener Depolarisation natürlich ganz. Wir führen von den Versuchen nur an, dafs man also auch beim Einschalten einer theilweis depolarisirenden Platte bei circularer Polarisation und circularer Analyse das Ringsystem ohne Kreuz sieht.

Was den Zusammenhang unserer Untersuchungen mit den Beobachtungen, die Hr. Prof. Dove im rotirenden Polarisationapparat gemacht hat, anlangt, so ist derselbe folgender:

Hr. Prof. Dove hat bei jenen interessanten Untersuchungen auch die Anordnung so getroffen, dafs er ein Glimmerblättchen, welches im Azimuth 45° die circulare Polarisation giebt, zwischen zwei feststehenden Nicoln rotiren liefs. Eine eingeschaltete Kalkspathplatte zeigte alsdann als Resultante sämmtlicher Erscheinungen des circularen, elliptischen und linearen Lichts bei linearer Analyse die Erscheinungen des theilsweis geradlinig polarisirten Lichtes, bei circularer, die einer Mischung von natürlichem und circularem.

Ganz die Stelle nun, die hier das rotirende Glimmer-

blättchen einnimmt, nimmt in unseren Untersuchungen eine aus sehr kleinen doppeltbrechenden Krystallen bestehende Platte ein. Dasjenige, was bei dem rotirenden Glimmerblättchen sehr schnell in *der Zeit nacheinander* geschieht, nämlich dafs das aus dem ersten Nicol austretende Licht durch das Glimmerblättchen nach allen möglichen Azimuthen polarisirt wird — jedoch so, dafs die Intensitäten der Strahlen mit dem Annähern ihrer Polarisationsebenen an die Ebene der ursprünglichen Polarisation zunehmen — oder anders ausgedrückt, indem man nun gleich zwei zusammengehörige Strahlen zusammenfafst, dafs das austretende Licht in der Zeit nach einander alle Arten von polarisirtem Lichte giebt, dasselbe geschieht bei den Platten aus kleinen Krystallen *im Raume sehr nahe bei einander*, und es ist immerhin interessant das übereinstimmende Resultat dieser beiden verschiedenen Anordnungen zu sehen.

Aber noch eine andere Beobachtung des Hrn. Professor Dove dürfte hierherzuziehen seyn, nämlich diejenige, die derselbe in derselben Abhandlung unter No. 10 anführt. Es wird dort angegeben, dafs wenn man das auf den vordern Nicol seines Apparates fallende Licht geradlinig polarisirt, und dann diesen Nicol rotiren läfst, dafs dann das aus dem Nicol austretende Licht theilweis in der ursprünglichen Ebene polarisirt sey. Hier ist an die Stelle des Glimmerblättchens der Nicol getreten, und durch die Rotation desselben wird das Licht nach allen möglichen Richtungen, freilich mit verschiedenen Intensitäten, geradlinig polarisirt.

Es entspricht diese Anordnung noch mehr, oder vielmehr ganz genau unseren obigen theoretischen Betrachtungen, und das Resultat ist denn beim geradlinig polarisirten Licht auch vollständig dasselbe, wie bei unseren Beobachtungen. Polarisirte aber Hr. Prof. Dove das auf den rotirenden Nicol fallende Licht circular, so erhielt er vollkommen natürliches. Bei unseren Versuchen dagegen zeigte sich, dafs das circulare Licht durch eine Platte klei-

ner Krystalle nicht in natürliches, sondern in theilweis circulares Licht umgewandelt wurde.

Der Grund dieser Verschiedenheiten dürfte der seyn, dafs bei dem rotirenden Nicol in der That lauter Strahlen von gleicher Intensität nach jedem Azimuth austreten, die gewissermafsen unabhängig von einander sind, also auch nicht zu circularem oder elliptischem Licht Veranlassung geben können, während beim Durchgang von circularem Licht durch die kleinen Krystalle, die beiden senkrecht zu einander polarisirten Strahlen, in die das circulare Licht zerlegt wird, sich wieder vereinigen, sey es zu circularem, elliptischem oder linearem. Diefs wird jedesmal von der Verzögerung, die die beiden Strahlen gegeneinander beim Durchgang durch einen kleinen Krystall erleiden, abhängen, da aber diese Krystalle sehr klein sind, so wird diese Verzögerung verschwindend seyn; die meisten senkrecht zu einander polarisirten Strahlenpaare werden also ihren alten Phasenunterschied behalten, also zusammen wieder circulares Licht geben, aus dem sie entstanden sind. Wenn mithin auch einzelne Strahlenpaare in elliptisches oder geradlinige Licht übergehen, so werden doch die meisten circular bleiben, und folglich wird die Gesammtintensität des aus der depolarisirenden Platte austretenden Lichtes nicht natürliches, sondern theilweis circular polarisirtes Licht seyn.

II. *Ueber die physikalische Ursache der Eiszeit; von Dr. E. Frankland,*

Professor der Chemie an der *Royal Institution* von Grofsbritannien

(Von Hrn. Verf. übersandt).

Unter den Umständen, welche von mächtigem Einflufs auf die physikalische Beschaffenheit unserer Erde waren, hat die ihrer Gröfse nach fast unbegreifliche Wirkung alter Gletscher sich allmählich, aber unwiderstehlich dem Blicke

der Naturforscher aufgedrängt, seit Venetz[1]) und Esmark[2]) zuerst auf sie aufmerksam machten. Es giebt wenig hochgelegene Gegenden in irgend einem Theile der Welt, welche nicht unzweifelhafte Beweise von dem so charakteristischen Abschleifen und Poliren durch Eismassen darbieten, obwohl sie gegenwärtig vielleicht kaum vom Winterschnee betroffen werden. In unserem eigenen Lande haben die Untersuchungen von Buckland und besonders von Ramsay deutlich gezeigt, dafs die schottischen Hochlande, die Berge von *Wales* und *Cumberland* und die Kalkfelsen (*Limestone crags*) von *Yorkshire* überreich sind an diesen »*roches moutonnés*«, welche keinen Zweifel lassen, dafs die Thäler dieser Bergketten einst ausgefüllt waren mit Gletschern, an Gröfse nicht übertroffen, wenn gar erreicht, von denen, die heut zu Tage an den Seiten ihrer gigantischen Schweizer Nebenbuhler herabhängen. Diefs ewige Eis einer früheren Zeit war auch nicht auf Gegenden beschränkt, wo dasselbe jetzt nicht gesehen wird, sondern zahlreiche Beobachtungen haben festgestellt, dafs die Gletscher der Gegenwart, in der Schweiz, in Norwegen und anderswo, nur die eingetrockneten Bäche alter Eisströme von ungeheurer Gröfse sind. Diese Gletscher haben die Alpenthäler, welche sie einst in Besitz hatten, abgenagt, haben die »*Lochs*« und »*Kyles*« von Schottland, so wie die gröfseren *Fjorde* von Norwegen ausgegraben und dadurch wesentlich zum gegenwärtigen Ansehen unserer Berg-Landschaften beigetragen. Ramsay[3]) und Tyndall[4]) haben neuerlich auf diese Wirkung alter Gletscher aufmerksam gemacht und mit beträchtlicher Wahrscheinlichkeit behauptet, der erstere, dafs die Seebecken, der letztere, dafs die Alpenthäler, in solcher Weise gröfstentheils ausgehölt worden seyen. In keinem Theile der Welt vielleicht können die Phänomene der Eis-

1) Denkschriften d. Allgm. Schweiz. Gesellsch. 1833 Bd. I, Abth. II.
2) Edinburgh, *New Philosoph. Journal* 1827, *Vol. III.*
3) *Quart. Journ. of the Geolog. Soc. Aug.* 1862.
4) *Philos. Transact. f.* 1857 *et* 1858; auch *Phil. Magazine, Ser. IV, Vol. XV, XVI, et XVII.*

zeit vortheilhafter studirt werden als in Norwegen, wo die eisnarbigen Küsten und Fjorde noch vollständig dem Auge des Beobachters blofsgelegt sind, zur Seite des Oceans, welcher das einst sie bedeckende krystallinische Material hergegeben hat. Die 2000 (engl.) Meilen lange Küste von Christiania nach dem Nordkap liefert fast ununterbrochene Zeugnisse von den ungeheueren Operationen des Eises, welche in der erwähnten Zeit beinahe alle Gestaltungen dieses merkwürdigen Landes modellirten.

In dieser Beziehung hat Norwegen schon Esmark und L. v. Buch angeregt, besonders James Forbes, dessen zahlreiche Forschungen und scharfe philosophische Schlüsse am meisten zur Erweiterung unserer Kenntnisse der physikalischen Erscheinungen Scandinaviens beigetragen haben. Dem Prof. Forbes verdanke ich viele in dem Folgenden benutzten Data. Es war auch bei einem Aufenthalt in Norwegen im letzten Sommer, dafs ich rücksichtlich der physischen Ursache der Eiszeit die Eindrücke empfing, welche den Gegenstand dieses Aufsatzes ausmachen.

Von Christiania ausgehend, kann der Reisende nicht verfehlen, das sonderbare Ansehen der Gneis- und Granitfelsen zu bemerken, aus denen die Küste und die zahllosen Inseln bestehen, welche, als ein grofses natürliches Wehr, die Küste vor den Wogen des atlantischen Oceans schützen. Diese Felsen, hier selten bis zu 800 oder 900 Fufs aufsteigend, zeigen nichts von jenen scharfen und rauhen Umrissen, welche insgemein solche Formationen charakterisiren. Im Gegentheil sind sie bis zu ihren Gipfeln geglättet, an allen Ecken abgenutzt, und jeder Spur von Kühnheit und Schroffheit beraubt. Der zufällige und ununterrichtete Beobachter wird die Wirkung des Meeres für eine hinreichende Ursache dieser Erscheinungen halten; allein es bedarf keiner grofsen Forschung um überzeugt zu werden, dafs die Wellen des Oceans wenig mit diesem Glätten und Poliren der Küste zu thun hatten. Vermöge ihrer Verschiedenheit in Structur und chemischer Zusammensetzung erfahren die Gneis- und Granitmassen eine un-

gleiche Wirkung von dem Wasser. Dieses löst und zertheilt die löslicheren und bröcklichen Theile und erzeugt statt der Glätte und verhältnifsmäfsigen Politur, welche die Küste darbietet, je nach Umständen eine zellige oder rissige Oberfläche. Solch eine Verwitterung der Felsen kann in der That an vielen Orten deutlich gesehen werden und zwar oben auf der Politur, welche von der früheren Wirkung bewegter Eismassen herrührt. Kurz es kann als allgemeiner Satz aufgestellt werden, dafs die Wirkung des Meeres und des Wetters auf die Felsen eine runzliche, unregelmäfsige und besonders eine rissige Oberfläche erzeugt, während die des Gletschereises ein abgerundetes, verhältnifsmäfsig glattes und gleichförmiges Ansehen derselben hervorbringt. Bedürfte es fernerer Beweise, dafs die Oberfläche der Norwegischen Küstenfelsen einen ausschliefslich eisigen Ursprung hat, so ergeben sie sich erstens aus dem häufigen Vorkommen jener Schrammen und feinen Ritze, welche so unwiderleglich die früher das Bett eines Gletschers bildenden Felsflächen charakterisiren, und zweitens aus dem Umstand, dafs in der Regel die glättende Wirkung offenbar vom Lande hergekommen ist. Alle gegen das Land geneigten Flächen sind, soweit ich gesehen, beständig abgerundet und polirt, während an einigen Orten, wo der Fels jählings gegen das Meer abfällt, er gegen die abreibende Wirkung geschützt worden ist und nur eine verwitterte Oberfläche zeigt.

Geht man um das Vorgebirge Naze herum weiter nach Norden, so zeigt die Küste, mit wenigen Ausnahmen, dasselbe allgemeine Ansehen, bis zum Polarkreis, wo sich der Charakter derselben ziemlich plötzlich ändert. Die felsigen Hügel erlangen die Bedeutung von Bergen, und steigen auf in schroffen, scharfen und phantastischen Pics, welche gegen die runden Gipfel der niederen Breiten stark abstachen. Allein diese arctischen Pics verdanken ihre Verschonung von der abschabenden Wirkung des Eises blofs ihrer Höhe; denn ringsum an ihrem Fufse, und selbst hoch hinauf an ihren Abhängen haben die trägen Wogen des

sich bewegenden Eismeeres ihre unverkennbaren Spuren hinterlassen, sie abgeschliffen und selbst unterhöhlt in den ungewöhnlichsten Formen, von denen nur die *Sieben Schwestern* und *Torghatten*, mit seinem sonderbaren Tunnel, eben südlich vom Polarkreis, als schöne Beispiele genannt seyn mögen, ferner der *Hästman*, gerade auf diesem Kreise, und die Berge von *Folden* und *Vestfjords*, nördlich desselben; die letzteren sind von R. Everest treffend als ähnlich dem Rachen eines ungeheuren Haifisches beschrieben.

Es ist wichtig, die Richtung der Furchen auf diesen *roches moutonnés* zu bestimmen. Soweit meine eigenen Beobachtungen reichen, bestätigen sie die Angabe von Hrn. Siljeström, dafs die abschabende Wirkung gewöhnlich in einer Nordwest-Richtung geht, d. h. vom Lande zum Meere. In Fällen, wo eine Abweichung von dieser allgemeinen Richtung da war, zeigte sich ihm eine hinlängliche Ursache dazu, z. B. die Einmündung eines Fjordes oder das Auftreten eines Hindernisses seewärts. Ich konnte daher nicht dem Schlusse widerstehen, dafs die Eismassen, welche die Furchen verursachten, sich an den Berg-Abhängen herunter in das Meer bewegten und nicht als schwimmende Massen aus den Polarregionen an die Küste kamen. Ich darf indefs nicht unterlassen zu bemerken, dafs Forbes einer anderen Meinung über diesen Punkt zuneigt. Er sagt [1]), »Ueber die Richtung der Furchen kann ich mich nicht aussprechen, da ich nicht landen konnte, um sie zu untersuchen. Es schien mir jedoch, dafs, wenigstens an der Küste, die Richtung der Reibung, wie sie durch die *Stofs-* und *Leeseite* bezeichnet ist, *parallel* der Küste, von Norden nach Süden ging.

Diefs mag für die Küste richtig seyn, allein die Durchforschung mehrer der Fjorde überzeugte mich, dafs die alten Gletscher ihren Gang auf dem nächst thunlichen Wege von den Sammelbecken der Berge nach dem Meere nahmen. *Hardanger-*, *Romsdal-*, *Trondhjem-*, *Namsen- und Salten-Fjord* zeigen überall die unverkennbarsten

1) *Norway and its glaciers p.* 46.

Beweise, dafs sie einst ausgefüllt waren mit ungeheuren Gletschern, denen sie in der That zweifellos hauptsächlich ihr Daseyn verdanken. Der *Hardanger-Fjord* mit seinen neueren Gletschern, welche von dem *Firn* des *Folge Fond* herunterstreichen, ist ein prachtvolles Beispiel vom Canal eines alten Eisstromes. Wo seine felsigen Ufer entblöfst sind, da sind sie auch versehen mit den charakteristischen Furchen, deren Lage und anderseits deren Abwesenheit auf den jählings zur Mündung des Fjordes geneigten Abhängen deutlich die Richtung verkünden, in welcher die alten Gletscher sich bewegten. Im *Romsdal-Fjord*, an der Spitze desselben, ist die frühere Eiswirkung vielleicht noch schlagender dargethan, weil sie sich dichter um den Reisenden concentrirt. Soweit das Auge an den steilen Wänden dieses grofsen Hohlweges hinaufreicht, sind die Felsen gefurcht und geglättet durch die Wirkung des bewegten Eises; und ungeheure Gneisblöcke, die jetzt am Boden der Schlucht liegen, einst aber auf den Gipfeln der Abhänge gelegen haben müssen, zeigen durch die abgeriebene und gefurchte Beschaffenheit ihrer früher entblöfsten Seiten, dafs entweder diese Schlucht einst vollständig mit Eis ausgefüllt, oder durch einen Gletscher von mäfsigerer Dicke allmählich ausgehöhlt ward.

Es war natürlich, dafs diese gehäuften Beweise eines früheren Zustandes der Erdoberfläche, der von dem gegenwärtigen so sehr verschieden ist, mannigfache Hypothesen hervorriefen, um einen Wärmezustand zu erklären, welcher Landstriche, die jetzt häufig fette Wiesen und üppige Kornfelder darbieten, von solchen ungeheuren Eismassen bedecken liefs. Fourier (Poisson) nahm an, dafs die Temperatur des Himmelsraumes nicht gleichförmig sey, und dafs unser Sonnensystem in Folge der ihm zugeschriebenen eigenen Bewegung unter den Sternen zuweilen durch Regionen gehe, die kälter als andere seyen. Gemäfs dieser Hypothese trat die Eiszeit ein, als das Sonnensystem einen verhältnifsmäfsig kalten Raum des Himmels durchwanderte. Andere haben gedacht, dafs die von der Sonne ausgesandte

Wärme eine Veränderung erleide, und dafs jener Zeitraum aus einer so zu sagen kalten Sonnenperiode hervorgegangen sey. Hr. W. Hopkins glaubt, dafs eine verschiedene Vertheilung von Land und Wasser, und besonders eine verschiedene Richtung der von den Tropen nach den Polarregionen gehenden Ströme warmen Wassers das Klima gewisser Gegenden kälter als jetzt machten und somit eine hinlängliche Erklärung der Phänomene der Eiszeit liefern. Endlich meint Prof. Kämtz [1]), dafs in der Eiszeit die Berge weit höher als jetzt gewesen seyen, der *Mont-Blanc* z. B. eine Höhe von 20000 Fufs erreicht habe, indem die secundären und tertiären Formationen während der Eiszeit von ihren Gipfeln fortgerissen worden.

Die beiden letzten Annahmen sind mit furchtbaren geologischen Schwierigkeiten verknüpft, besonders wenn man erwägt, dafs die Phänomene des besagten Zeitraumes sich über die ganze Oberfläche der Erde erstreckten; sie haben daher niemals eine mehr als theilweise Aufnahme gefunden. Von den beiden ersten Hypothesen hat überdiefs Tyndall neuerlich gezeigt, dafs sie auf einer ganz irrthümlichen Ansicht von den nothwendigen Bedingungen zu den zu erklärenden Erscheinungen beruhen. Die Bildung der Gletscher ist nämlich ein wahrer Destillationsprocefs, der, um zu Stande zu kommen, sowohl Wärme als Kälte erfordert. Das Product einer Destillation würde durch eine absolute Temperatur-Erniedrigung verringert, nicht vermehrt werden. Um die Operation zu gröfserer Thätigkeit anzuregen, ist eine gröfsere Temperatur-Differentiation erforderlich. Prof. Tyndall supponirt keine Ursache für eine solche erhöhte Differentiation während der Eiszeit; allein er zeigt bündig, dafs beide Hypothesen, abgesehen davon, dafs sie gar nicht von kosmischen Thatsachen unterstützt werden, nicht allein unfähig sind eine solche Ursache festzustellen, sondern auch einen Zustand der Dinge voraussetzen, welcher die Gletscher an ihrer Quelle vernichten würde, da die Verdampfung, von welcher ihr Da-

1) Mittheilungen der geograph. Gesellschaft zu Dorpat Bd. II.

seyn wesentlich abhängt, verringert wäre. Nur durch einen gröfseren Temperatur-Unterschied zwischen Land und Meer ist eine Zunahme der Eiswirkung möglich; und diese Hypothesen sind verfehlt, in sofern sie die Nothwendigkeit einer Erhöhung des Temperatur-Unterschiedes gänzlich ignoriren.

Diefs erhellt aus einer Betrachtung der Functionen der drei wesentlichen Theile des grofsen natürlichen Eis-Apparates, nämlich des Evaporators, des Condensators und des Recipienten. Die Rolle des Oceans als Evaporator ist zu einleuchtend, um einer Beschreibung zu bedürfen. Die beiden anderen Theile des Apparates sind jedoch gewöhnlich mit einander verwechselt worden. Die Berge sind wirklich die Recipienten oder *Eisträger*, und nur in untergeordnetem Sinne Condensatoren. Der wahre Condensator ist die trockene Luft der oberen Regionen der Atmosphäre, welche die Wärme des Wasserdampfs, der nach Tyndall's neueren Untersuchungen ein aufserodentliches Strahlungs- und Absorptions-Vermögen besitzt, eine freie Ausstrahlung in den Himmelsraum gestattet [1]). Tyndall hat gezeigt; dafs der Wasserdampf an der oberen Fläche einer ganz oder bei-

1) Ich habe ein einfaches Verfahren erdacht, die Ausstrahlung des Wasserdampfs experimentell so zu erweisen, dafs viele Personen auf einmal den Effect sehen können. Ein Holzkohlenöfchen, 14 Zoll hoch und 6 Zoll im Durchmesser, wird vor einer Thermosäule aufgestellt, aber zwei Fufs von ihm entfernt, und die Strahlung des Oefchens und der Kohlen wird durch einen doppelten Metallschirm von der Säule abgehalten. Nachdem die durch die Ausstrahlung der aufsteigenden und erhitzten Kohlensäure bewirkte Ablenkung des Galvanometers sorgfältig mittelst der Strahlung einer constanten Wärmequelle auf die andere Seite der Säule neutralisirt worden, läfst man einen Dampfstrom durch ein lothrecht den Ofen durchsetzendes Eisenrohr aufsteigen. Augenblicklich weicht das Galvanometer viel stärker ab als vor der Compensation wo es der vollen Ausstrahlung der erhitzten Luft und Kohlensäure ausgesetzt war. Bei Unterbrechung des Dampfstroms kehrt die Nadel sogleich auf Null zurück. Wenn nun statt des Dampfes ein Luftstrom durch das Rohr getrieben wird, erfolgt entweder gar keine Ablenkung oder eine schwache in entgegengesetzter Richtung. Die Höhe des Ofens verhindert die Condensation des Dampfes vollständig.

nahe mit Feuchtigkeit gesättigten Luftschicht seine Wärme rasch in den Himmelsraum ausstrahlen, und sich je nach der Temperatur der umgebenden Atmosphäre zu Regen oder Schnee verdichten mufs, da die trockene Luft fast ganz machtlos ist, diese Ausstrahlung zu hemmen. So wird denn die ungeheuere Wärmemenge, welche sich bei der Condensation von Wasserdampf entwickelt fortgeschafft, ohne die Temperatur des Mediums, in welchem die Operation vor sich geht, merklich zu erhöhen. Dafs dieser Condensationsprocefs höchst thätig und wichtig bei meteorologischen Erscheinungen seyn mufs, kann schwerlich bezweifelt werden, wenn man erwägt, dafs der grofse Zuwachs an Wärme, den die umgebende Atmosphäre erlangte, sobald eine Condensation zu Wasser aus irgend einer anderen Ursache erfolgte, der ferneren Ablagerung von Feuchtigkeit unter solchen Umständen bald Einhalt thun müfste. So würde die Condensation eines Kubikfufses Wasser von 40° F. aus Wasserdampf von 32° F. die Temperatur von 352053 Kubikfufs Luft um 10° erhöhen. Ein solcher ungeheure Wärmezuwachs, wo Condensation ohne Radiation stattfindet, würde unfehlbar den Procefs schnell abbrechen.

Der Condensator ist also ein Apparat ganz verschieden von dem Eisträger, welcher letzterer in der That bei der gewöhnlichen Destillation die Stelle des Recipienten einnimmt; und solange also die Temperatur der Eisträger, nebst der der umgebenden Luft, sich nicht über 0° C. erhebt, bleiben ihre Functionen unangetastet. Alles Uebrige gleich, wird ein Eisträger von 0° C schwerlich in Wirksamkeit durch einen von — 15° C. übertroffen. Allein man mufs bedenken, dafs die actuelle Wirksamkeit eines Eisträgers, nach jährlichem Durchschnitt, abhängt von der Länge der Zeit, während welcher seine Temperatur nicht über den Frostpunkt steigt. Daher sind denn diejenigen Berge, welche am weitesten in die zunehmend kalten Höhen der Atmosphäre hineinreichen die wirksamsten, — nicht weil ihre Temperatur zuweilen tief unter dem Frostpunkt liegt,

sondern weil sie einen gröfseren Theil des Jahres hindurch eine unter diesem Punkt liegende Temperatur besitzen.

Diese Betrachtungen führen zu dem Schlufs, dafs, vorausgesetzt die Versorgung der Atmosphäre mit Wasserdampf bleibe constant, eine vergröfserte Condensation nur entstehen kann durch eine erhöhte Leichtigkeit der Wärmestrahlung jenes Wasserdampfs in den Himmelsraum, — eine Bedingung welche kosmische Veränderungen einschliefst, von denen wir nicht die geringsten Beweise haben. Da andrerseits die Kräfte des ausstrahlenden Condensators im gegenwärtigen Moment bei weitem nicht auf höchste angeschlagen sind, so würde eine reichlichere Versorgung der Atmosphäre mit Wasserdampf zugleich eine entsprechende Verstärkung der Condensation bewirken. Solch eine reichlichere Versorgung mit Wasserdampf, einen bedeutenden Zeitraum hindurch, könnte nur aus der Verbindung einer gröfseren Wärmemenge mit den Gewässern des Oceans hervorgehen. Allein alle bisher zur Erklärung der Eiszeit aufgestellten Hypothesen haben in der Erkennung dieser Seite des Problemes gefehlt, in sofern sie alle annehmen dafs Kälte allein nothwendig war zur Entwickelung der Phänomene jener Zeit. Dieser wichtige Mangel mufs mir zur Entschuldigung dienen bei der Aufstellung einer neuen Hypothese, welche nothwendig in gewisser Hinsicht auf noch unvollkommen ermittelten Daten beruht, und welche sich mir allmählich aufdrang aus den Eindrücken, die ich während meiner neuerlichen Reise in Norwegen empfing. Jede solche Theorie mufs Kenntnifs nehmen von folgenden Punkten in der Geschichte der Eiszeit. Erstens: dafs die Wirkungen auf der ganzen Erde verspürt wurden. Zweitens: dafs sie erfolgten oder wenigstens endigten in einer verhältnifsmäfsig neuen geologischen Periode. Drittens: dafs ihnen eine Periode von unbestimmter Dauer voranging, in welcher die Eisthätigkeit entweder ganz fehlte oder wenigstens auf Regionen von bedeutender Höhe beschränkt war. Viertens: dafs während ihrer Andauer der atmosphärische Niederschlag viel gröfser war, und zu einer Periode

die Schneelinie bedeutend tiefer lag als gegenwärtig. Fünftens: dafs ihr eine Periode folgte, die sich bis in die jetzige Zeit ausdehnte, worin die Eiswirkung wiederum sehr unbedeutend ward.

Alle diese Umstände würden die natürlichen Folgen einer allmählichen Erkaltung des Oceans von einer höheren Temperatur zu seiner jetzigen seyn. *Die einzige Ursache der Erscheinungen der Eiszeit war eine Temperatur des Oceans höher als seine jetzige.*

Die Hypothese beruht hauptsächlich auf den folgenden zwei Sätzen:

1. Dafs eine höhere Temperatur des Oceans zu einer stärkeren Verdampfung und folglich zu einem gröfseren atmosphärischen Niederschlag Anlafs geben würde.

2. Dafs dieser vermehrte atmosphärische Niederschlag die mittlere Tiefe des bleibenden Schnees auf den Eisträgern vergröfsern, und innerhalb gewisser Gränzen, die Schneelinie herabdrücken würde.

Untersuchen wir diese Sätze im Detail. Allgemein genommen ist der erste eine unbestreitbare Wahrheit, und es ist daher nur nöthig zu untersuchen, wie weit die Verdampfung des Oceans solchergestalt afficirt werden würde. Die Gröfse der Verdampfung des Wassers bei verschiedenen Temperaturen und unter verschiedenen Umständen wurde von Dalton bestimmt, dessen Resultate in folgender Tafel aufgeführt sind. Die Verdampfung erfolgte jedesmal aus einer kreisrunden Fläche von 6 Zoll im Durchmesser.

Temp. F.	Verdampfung in der Minute		
	bei Windstille	bei sanftem Wind	bei starkem Wind
85°	4,92 Gran	6,49 Gran	8,04 Gran
75	3,65	4,68	5,72
65	2,62	3,37	4,12
55	1,90	2,43	2,98
45	1,36	1,75	2,13
35	0,95	1,22	1,49

Wir haben keine hinreichenden Data zur Berechnung der gegenwärtigen Mitteltemperatur des Oceans; allein unter 69° 40′ N. Br. an der Küste von Norwegen, Mittags an einem merkwürdig heifsem Sommertage fand Forbes die Temperatur an der Oberfläche = 46°,5 F. Die Annahme von 40° F. als Mitteltemperatur an der Küste von Norwegen wird daher wahrscheinlich über der Wahrheit liegen. Nehmen wir nun das Mittel aus den von Dalton bei 35° und 45° erhaltenen Resultaten, so würde die Verdampfung aus einer kreisrunden Fläche von 6 Zoll Durchmesser bei 40° seyn:

Bei Windstille.	Bei sanft. Wind.	Bei stark. Wind.	Mittel.
1gr,15	1gr,48	1gr,81	1gr,48

und bei 60° nach dem Mittel der Dalton'schen Resultate bei 55° und 65°:

2gr,26	2gr,90	3gr,55	2gr,90.

Diese absoluten Zahlen wurden mit trockener Luft erhalten und können daher nicht betrachtet werden als Repräsentanten der *wirklichen* Verdampfung aus einer Wasserfläche wie die des Oceans, welche mit Luft von stets wechselnder hygrometischer Beschaffenheit in Berührung ist. Ich behaupte nur, sie repräsentiren unter ähnlichen Verhältnissen in beiden Fällen die *relative* nicht die absolute Verdampfung aus einer gegebenen Fläche des Oceans; und, wenn das zugegeben wird, so folgt, dafs eine Erwärmung des Oceans an der norwegischen Küste von 20° F. über seine gegenwärtige Temperatur die Verdampfung aus einer gegebenen Fläche verdoppeln würde. Eine solche verstärkte Verdampfung, begleitet wie es nothwendig seyn mufs von einem entsprechenden Niederschlag, würde genügen die Fjorde mit Eis zu füllen und die Westküsten jenes Landes mit demselben zu bedecken, sobald nur die Eisträger sich in einem hinlänglich wirksamen Zustand befänden. Allein, würde nicht die erhöhte Temperatur des Oceans bestrebt seyn, die Mitteltemperatur der Atmosphäre selbst in beträchtlichen Höhen zu steigern, und somit die

Schneelinie zu heben und das Areal des ewigen Schnees zu verringern?

Die Antwort auf diese Frage ist in dem zweiten der obigen Sätze enthalten. Dafs die Gränze des ewigen Schnees nicht alleinig von der Mitteltemperatur der Atmosphäre an dem betreffenden Orte abhängt, beweist die sehr verschiedene Mitteltemperatur der Schneelinie an verschiedenen Orten. So ist sie unter dem Aequator ungefähr 35°, in den Alpen und Pyrenäen 25° und nach L. v. Buch unter 63° N. Br. in Norwegen nur 21° [1]). Diese Zahlen sind sehr lehrreich. Warum steigt die Mitteltemperatur der Schneelinie mit Annäherung an den Aequator? Die Antwort auf diese Frage gab bereits Hr. Hopkins in seinem bewundernswerthen Aufsatz über den Einflufs der inneren Wärme auf das frühere Klima der Erde [2]). Er nimmt an, dafs die niedrige Schneelinie unter den Tropen von einer gleichförmigeren Temperatur und einer gröfseren Feuchtigkeit der Atmosphäre herrühre. Die Regenströme welche unter den Tropen herabfallen, übertreffen bei weitem die Niederschläge in den gemäfsigten und den kalten Zonen; und ohne Zweifel sind die Schneefälle auf den intertropischen Bergen verhältnifsmäfsig grofs. Der wichtige Einflufs, welchen die Gröfse der Niederschläge allein auf die untere Gränze des ewigen Schnees ausübt, zeigt sich auffallend an dem schönen Wasserfall von *Tysse Strenger* am Ende des *Hardanger-Fjord*, und wurde zuerst von Hrn. M. Williams bemerkt [3]). Der im Winter gefrierende Schaum dieses Falls bedeckt das Thal auf beinahe eine halbe (engl.) Meile mit einer so dicken Schnee- und Eisschicht, dafs sie der Schmelzung der sommerlichen Sonnenstrahlen widersteht. Ich selbst habe im *Sör-Fjord* zu Anfangs des verflossenen Augusts unter ähnlichen abnormen Umständen eine Schneemasse 10 Fufs über dem Niveau des Meeres liegen gesehen, obwohl die normale

1) Humboldt, Kosmos. Bd. 1 S. 9. — Forbes, *Norway etc. p.* 209.
2) *Geological Societys Journ. Vol. VIII, p.* 78.
3) *Through Norway with a Knapsack.*

Schneelinie daselbst wenigstens eine Höhe von 4500 Fufs über diesem Niveau besitzt. Hr. Hopkins berechnet, dafs die Schneelinie am Aequator 1000 Fufs niedriger liegt als die Mittel-Linie von 32°, während sie in den Alpen und unter dem Polarkreis respective 2000 und 3500 Fufs höher liegt als die Linie von 32°. Durch die oben erwähnten Einflüsse wird also die Schneelinie am Aequator nicht weniger als 4500 Fufs unter ihre thermische Lage am Polarkreis herabgebracht, und daher würde, bei aequatorialen Niederschlägen und einer gleichförmigeren Temperatur als jetzt, die Schneelinie in Norwegen am Polarkreis aus ihrer gegenwärtigen Lage von 3000 bis 4000 Fufs über dem Ocean bis zum Spiegel desselben herabsinken. Diese wesentliche Abhängigkeit der Höhe der Schneelinie von der Gröfse des Niederschlags und der Gleichförmigkeit der Temperatur wird auch bestätigt durch ihre relative Höhe an der Küste und im Innern der skandinavischen Halbinsel, wie sie Forbes in der folgenden Tafel giebt, theils nach seinen eigenen Beobachtungen, theils nach denen von L. v. Buch, Naumann und Anderen [1]).

Breite	Höhe der Schneelinie, in Fufsen.		
	Im Inneren	An der Küste	Unterschied
60°	5500	4450	1050
62	5200	4150	1050
64	4200	3650	550
66	3700	3250	450
68	3450	3000	450
70	3350	2900	450

Der Unterschied zwischen der Höhe der Schneelinie nahe an der Küste, wo in Folge des Golfstromes der Winter milde, aber der atmosphärische Niederschlag grofs ist, und der im Innern, wo das Klima ein extremes und die Luft verhältnifsmäfsig trocken ist, beläuft sich also in einigen Fällen auf ganze 1050 Fufs oder nahe ein Viertel der gesammten Höhe. Im Zusammenhang mit dieser Herabdrückung der Schneelinie, darf auch nicht vergessen wer-

1) *Norway and its glaciers*, p. 214.

den, dafs reichlicher Niederschlag ganz unverträglich ist mit grofser Sommerhitze. Der unaufhörlich bedeckte Himmel fängt die Sonnenstrahlen auf und mäfsigt die Sommertemperatur. Es ist eine alte Erfahrung, dafs ein nasser Sommer immer ein kalter ist.

Während also eine Steigerung der oceanischen Wärme die mittlere Temperatur der Gränze des ewigen Schnees zu erhöhen sucht, würde dennoch, innerhalb gewisser Gränzen, eine Herabdrückung der Schneelinie selbst stattfinden und zwar wegen der oben erwähnten Neben-Umstände, nämlich 1) wegen vermehrten Niederschlags, welcher während der Wintermonate eine solche Anhäufung von Schnee veranlassen würde, dafs er der Schmelzung durch die Wärme des darauf folgenden Sommers widerstände, und 2) wegen Verringerung der Sommertemperatur in Folge der Auffangung der Sonnenstrahlen durch den bedeckten Himmel. Es leuchtet indessen ein, dafs diese Erniedrigung der Schneelinie durch Erhöhung der oceanischen Temperatur nur innerhalb gewisser Gränzen stattfinden würde; denn wiewohl die mittlere Temperatur der Schneelinie von 21° (ihrer gegenwärtigen Lage in Norwegen) zu 35° (ihrer Höhe unter dem Aequator) und vielleicht noch höher steigt, ohne eine Erhöhung der Schneelinie selbst, würde doch eine fernere Steigerung der Mitteltemperatur, die aus einer fortdauernden Vergröfserung der oceanischen Wärme entstände, nicht verfehlen, die Schneelinie selbst zu heben und möglicherweise die letzten Portionen Schnee von den höchsten Bergspitzen zu vertreiben. Ein umgekehrter Procefs hat, wie ich glaube, in der Natur stattgefunden und allmählich den gegenwärtigen meteorologischen Zustand unserer Erdkugel herbeigeführt. Der Ocean besafs einst eine Temperatur so hoch, dafs die Schneelinie über den Gipfeln möglicherweise selbst der höchsten Berge schwebte; allein mit der Abnahme der oceanischen Wärme sank sie allmählich, hüllte einen Pic nach dem andern mit einem immerwährenden Mantel ein, bis sie während der strengsten Periode der Eiszeit ihre tiefste Lage erreichte, von wo sie wiederum in ihre gegenwärtige emporstieg, vermöge der verringerten Verdam-

pfung, deren Effect das Heben, der Linie des ewigen Schnees, schon erklärt worden ist.

Nachdem ich mich sonach bemüht habe zu zeigen, dafs alle Erscheinungen der Eiszeit sich folgerecht aus der allmählichen Erkaltung des Oceans von einer höheren Temperatur bis auf seine jetzige entwickeln lassen, erübrigt mir noch eine Ursache für solche höhere Temperatur des Oceans anzugeben, und gewisse gegen diese Hypothese vorgebrachte geologische und paläontologische Einwürfe zu beseitigen.

Zuerst mag in Betreff der Ursache der vorausgesetzten höheren Temperatur als ein unumstöfslicher Satz bemerkt seyn, dafs die Wärme entweder von aufsen, von einer kosmischen Quelle, oder von innen, d. h. von einem säcularen Ursprung herstammen mufs. Von kosmischen Quellen der Veränderung der terrestrischen Temperatur sind bisjetzt nur zwei hingestellt und auf diese habe ich bereits angespielt. Die erste derselben, nämlich die Hypothese, dafs unser Sonnensystem durch Himmelsräume ging, in welchen es eine stärkere Wärmestrahlung durch die Sterne empfing, ist bereits von Hrn. Hopkins in der schon angeführten Abhandlung ausführlich discutirt und schliefslich aus astronomischen Gründen als ganz unhaltbar bezeichnet worden. Die zweite erfordert einige Beachtung, da es keineswegs unwahrscheinlich ist, dafs die Sonne einst ein kräftigerer Wärme-Ausstrahler war als jetzt, obwohl die Annahme, dafs diefs in bedeutendem Grade so spät als am Ende der Eiszeit der Fall gewesen seyn sollte, in hohem Maafse unwahrscheinlich ist. Man könnte zugeben, dafs eine Verstärkung der Sonnenkraft die Temperatur der Meeresfläche erhöht, und die Functionen des ausstrahlenden Condensators nicht sehr gestört haben würde, indem die leuchtenden Wärmestrahlen der Sonne noch keine starke Absorption durch die Wasserdämpfe erlitten. Allein sie würde ohne Zweifel die Wirksamkeit der Eisträger sehr geschwächt haben, da deren kräftig absorbirende Oberflächen unter der erhöhten Sonnenstrahlung weniger fähig

gewesen wären, die nothwendige niedere Temperatur zu unterhalten. Glücklicherweise hat man jedoch nicht nöthig, sich hier auf Conjecturen einzulassen, denn der Beweis liegt in den comparativen Effecten der Sonnenstrahlung auf die Eisphänomene in den verschiedenen Zonen der Erde beständig vor uns. Die Sonnenstrahlung unter den Tropen ist, verglichen mit der in den gemäfsigten und kalten Zonen, eine verstärkte, aber diese Verstärkung bringt keine Eiszeit in der heifsen Zone hervor; im Gegentheil, obwohl, wie oben gesagt, die Schneelinie herabgedrückt ist in Bezug auf die Linie von 32°, sind doch beide Linien unwiderstehlich zu den Bergen hinaufgetrieben.

Keine kosmische Wärmequelle ist also im Stande, die Phänomene der Eiszeit zu erzeugen, und es bleibt daher nur die wohlbekannte säculare Quelle, die innere Erdwärme übrig. Das Problem des Einflusses der inneren Erdwärme auf die Temperatur der Erdoberfläche ist von Hrn. Hopkins [1]) und Prof. W. Thomson [2]) am geschicktesten behandelt worden. Annehmend das Resultat der Poisson'schen Berechnung, dafs der von der inneren Wärme herrührende Theil der jetzigen Temperatur der Erdoberfläche nur ein Zwanzigstel eines Fahrenheit'schen Grades betrage, zeigt Prof. Hopkins, dafs eine Erhöhung der Oberflächentemperatur aus dieser Quelle um 10° F. eine so rasche Zunahme hinabwärts involviren würde, dafs sie 200° F. in einer Tiefe von nur 60 Fufs erreichte, — ein physischer Zustand unseres Planeten, welcher, wie er bemerkt, schwerlich mit den Bedingungen des animalischen Lebens in den neueren geologischen Epochen vereinbar wäre. Nimmt man Poisson's Resultat als richtig an, so ist dieser Schlufs angewandt auf die starre Oberfläche unserer Planeten wahrscheinlich unbestreitbar; allein er ist nicht nothwendig, wenn wir ihn auf das Bett des Oceans ausdehnen. In der That giebt es einige Betrachtungen in Betreff des Durch-

1) *Journ. of the Geolog. Soc. Vol. VIII p.* 56 und *Phil. Trans.* 1857 *p.* 805.

2) *Transact. of the Roy. Soc. of Edinburgh, Vol. XXIII, p.* 157.

gangs der Wärme durch eine dicke Wasserschicht, wie die des Oceans, welche mir diese Berechnung als gänzlich unanwendbar erscheinen lassen, den ehemaligen Einfluſs der inneren Wärme auf die Oberflächentemperatur des Oceans darnach zu bestimmen. Vier Umstände kommen in Betracht, wenn man versuchen will, den Wärmezustand des Oceans während der Erhaltung der Erdkruste zu erforschen. Diese sind, erstens: die Wärmeleitung des Wassers; zweitens: seine Wärmefortführung; drittens: sein Vermögen, in Klüfte oder Verrückungen, die sich von Zeit zu Zeit in dem Boden des Oceans gebildet haben könnten, einzudringen; und viertens: seine specifische Wärme.

Was die Leitungsfähigkeit des Wassers betrifft, so zeigen die Bestimmungen von Despretz [1]), daſs sie, verglichen mit der Leitungsfähigkeit der soliden Erdkruste eine verschwindende Gröſse ist. Allein dieser fast gänzliche Mangel an Leitungsvermögen wird mehr als compensirt durch die Wärmefortführung. Wäre indeſs der Ocean frei von seitlichen Strömungen, so würde selbst diese Fortführung nicht viel die Fähigkeit des Granits, Wärme nach der Oberfläche zu leiten, übertreffen; denn nehmen wir an, die mittlere Tiefe des Oceans wäre fünf (engl.) Meilen, so würden wir, selbst wenn er am Boden eine Temperatur von 100° C. und an der Oberfläche eine von 15° C. hätte, nur einen Unterschied von 0,0032° C. für jeden Fuſs Erhebung haben. Wir besitzen keine Bestimmungen über die Geschwindigkeit der Wärmefortführung im Meerwasser für gegebene Temperaturdifferenzen, allein für den betrachteten kleinen Fuſs-Unterschied muſs sie fast undenkbar klein seyn. Deſsungeachtet läſst sich kaum bezweifeln, daſs die polaren und aequatorialen Ströme diese verticale Fortführung in dem Maaſse unterstützen, daſs im Ganzen die Wärme sehr viel rascher von dem Boden des Oceans zu seiner Oberfläche übertragen wird als in einer starren Granitschicht von gleicher Dicke. Ich habe mich bemüht, das relative Vermögen des Wassers und des Granits zu sol-

1) *Ann. de chim. et de phys. Vol. LXXI, p. 206.*

cher Fortpflanzung der Wärme roh zu bestimmen. Zu dem Ende wurde ein 6zölliger Würfel aus Granit geschnitten und ein Blechgefäfs verfertigt, das einen gleichen Würfel von Wasser, bedeckt mit einer Oelschicht von $\frac{1}{16}$ Zoll Dicke zur Verhütung der Verdunstung, aufnehmen konnte. Beide Würfel wurden auf eine Eisenplatte gestellt und von unten durch eine Dampf-Atmosphäre erhitzt, während die lothrechten Seiten durch mehre Lagen Flanell gegen Wärmeverlust geschützt waren. In die obere, der Luft ausgesetzte Fläche eines jeden wurde die Kugel eines Thermometers versenkt und die Zeit zu seinem Steigen um 10° C. aufgezeichnet. Folgendes sind die Resultate dieser Versuche:

Erforderliche Zeit, um die Temperatur der Oberfläche um 10° C. zu erhöhen:

beim Granitwürfel $1^h\ 10^m$
» Wasserwürfel 0 57.

Erwähnen mufs ich, dafs die mit der heifsen Platte in Berührung stehende Fläche des Blechgefäfses mit einer Schicht Lampenrufs überzogen war, und dafs die Oberflächen des Granits nur roh abgerieben, nicht geschliffen waren. In der That, alle experimentellen Bedingungen waren zu Gunsten des Durchgangs durch Wasser und dennoch stieg die Temperatur des letzteren mit nicht viel gröfserer Schnelligkeit als die des ersteren. Zieht man noch die specifischen Wärmen und Gewichte von Wasser und Granit in Betracht, so wird die in gleicher Zeit von der Base zur Decke eines jeden Würfels geführte Wärmemenge sich verhalten wie

Granit : Wasser = 1 : 2,36.

Obgleich diese Bestimmungen nur als rohe Approximationen der relativen Geschwindigkeiten des Wärmedurchgangs durch Granit- und Wasserschichten gegeben werden können, so zeigen sie doch, dafs die Fortführung der Wärme durch Wasser keineswegs so rasch ist im Vergleich zu der durch Granit als gewöhnlich vorausgesetzt wird. Es steht nicht zu bezweifeln, dafs beim Ocean die Schnelligkeit der

Fortführung durch polare und aequatoriale Ströme vergröſsert werden würde; allein dennoch ist die Annahme, der Boden des Oceans hätte sich so rasch erkaltet wie wenn er der freien Luft ausgesetzt gewesen wäre, ganz unhaltbar; und ich halte es nicht allein für möglich, sondern gar für wahrscheinlich, daſs die saeculare Abkühlung der Erde durch den Ocean hin bis in eine verhälnifsmäfsig sehr junge geologische Periode angedauert und selbst in unseren Tagen noch nicht ganz aufgehört habe.

Die gröſsere Leichtigkeit, mit welcher somit Wärme durch Wasser fortgeführt wird, würde offenbar die Wärmezunahme mit der Tiefe für eine gegebene Oberflächentemperatur viel weniger rasch machen, als es beim Granit der Fall wäre. So halte ich es für wahrscheinlich, daſs die innere Erdwärme die Oberflächen-Temperatur des Oceans noch in sehr beträchtlichem Grade afficirte, lange nachdem sie aufgehört hatte, die äuſsere Wärme des Landes merkbar zu influenciren. Diese Annahme wird bedeutend unterstützt durch eine Betrachtung der Umstände, welche das Entweichen der Wärme aus der Oberfläche des Oceans, verglichen mit dem aus dem Lande, zu verzögern trachten. Die Leichtigkeit, mit welcher strahlende Wärme aus gleich groſsen Flächen von Wasser und Granit bei derselben Temperatur durch vollkommen trockne Luft entweicht, ist beinahe gleich; allein sobald Wasserdampf in die Bahn der Strahlen eindringt, werden die Umstände wunderbar verändert. Aus beiden wird das Entweichen der Wärme verringert, allein die Strahlung aus dem Wasser wird bei weitem im stärksten Grade verzögert. Diese auſserordentliche Undurchdringlichkeit (*intranscalency*) des Wasserdampfs für Strahlen, die vom Wasser ausgehen, ist entscheidend nachgewiesen durch Tyndall in einem kürzlich der *Royal Society* mitgetheilten Aufsatz [1]).

Mögen wir demnach in Betracht ziehen: die Diffusion der Wärme durch Wasser und Granit oder die Eigenschaft des Oceans, vermöge Dislocationen usw. Wärme aus grö-

1) *Proceedings of the Roy. Soc. Vol. XIII, p.* 160.

fseren Tiefen als sein eigner Boden fortzuführen, oder endlich die respectiven Leichtigkeiten, mit welchen unter den angeführten kosmischen Bedingungen Wasser und Granit ihre Wärme in den Himmelsraum ausstrahlen, — so finden wir überall einen Zustand der Dinge, welcher nicht nur die Wärme im Wasser länger zu bewahren, sondern auch die Zunahme der Temperatur von der Oberfläche nach unten weniger rasch zu machen sucht, als es bei der starren Erdkruste der Fall ist; und dieses gilt auch *mutatis mutandis* von der Zurückhaltung der Wärme, die von der Sonnenstrahlung herstammt. Die leuchtenden Wärmestrahlen der Sonne gehen ungehindert durch Wasserdampf und werden absorbirt sowohl durch Granit-, als durch Meeresflächen; allein einmal absorbirt, gehen diese Strahen als dunkle Wärme von zwei verschiedenen Eigenschaften oder Vibrationsgeschwindigkeiten weiter fort. Um Tyndall's Erklärung des Phänomens zu gebrauchen, haben die Vibrationen der flüssigen Wassermoleçüle eine solche Geschwindigkeit, dafs sie von denselben Molecülen im Dampfzustande am besten aufgenommen und absorbirt werden können. Allein der Granit ist eine sehr zusammengesetzte Substanz und von den Wärme-Oscillationen seiner Atome sind wenigere im Einklang mit denen des Wasserdampfs; daher stören die Wärmevibrationen des Granits die Molecüle des Wasserdampfs bei ihrem Durchgang durch die Atmosphäre in geringerem Grade, und folglich werden die Granit-Strahlen weniger absorbirt.

Der Hauptprocefs, durch welchen der Ocean Wärme verlor, war demnach Verdampfung, denn diese geht, wie bekannt, von der Oberfläche des Wassers aus, bis die darüberliegende Luft mit Dampf gesättigt ist. Vermöge Diffusion steigt letzterer bis in die Nähe des trocknen Luft-Condensators, giebt daselbst seine latente Wärme ab, und verwandelt sich in Regen oder Schnee, je nach der Temperatur des Mediums, in welchem der Strahlungsprocefs stattfindet. Der einzige Wärme-Zerstreuungs-Procefs, des-

sen das Wasser am meisten fähig ist, ist also der, durch den die Eisträger mit ihren schneeigen Bürde versehen werden.

Einwürfe. — Die Hypothese, welche ich im Vorstehenden zu entwickeln bemüht war, wird, ahne ich, aufser den schon erwähnten Einwürfen noch verschiedene erfahren, welche auf dem ersten Blick sehr bedenklich erscheinen, welche aber, glaube ich, diesen Charakter wenigstens zum grofsen Theil verlieren, wenn man sie näher untersucht.

1. Vielleicht der handgreiflichste dieser Einwürfe ist einer gegen meine Behauptung, dafs ein reichlicherer atmosphärischer Niederschlag eine gröfsere Anhäufung von Schnee auf den höheren Theilen des Landes veranlassen und somit die Schneelinie herabdrücken würde. Man könnte sagen, dafs wenn auch ein vermehrter atmospärischer Niederschlag im Winter mehr Schnee ablagern, doch der entsprechende starke Regen im Sommer den Ueberschufs des niedergefallenen Schnees wieder schmelzen würde. Zur Antwort auf diesen Einwurf möchte es vielleicht hinreichend seyn, die obengegebenen Thatsachen in Betreff der comparativen Höhe der Schneelinie in benachbarten trocknen und feuchten Orten dagegenzustellen; allein es kann auch zur Erklärung dieser Thatsachen hinzugefügt werden, dafs eine verhältnifsmäfsig grofse Menge selbst von warmem Wasser zur Schmelzung von Schnee oder Eis erforderlich ist. In der That ist wohl bekannt, dafs die Wärmemenge, welche blofs zum Schmelzen derselben erfordert wird, ihre Temperatur auf 174° F. erhöhen würde, wenn keine Schmelzung einträte. Gesetzt, es würde der Niederschlag auf einen gegebenen Eisträger das ganze Jahr hindurch verdoppelt, dafs während sechs Monate dieses Jahres der vermehrte Niederschlag in Form von Schnee von 32° F. erfolgte und während der übrigen sechs Monate in Form von Regen von 50° F.; so würde, selbst unter diesen für die Eisträger offenbar so ungünstigen Umständen, sehr wenig mehr als ein Achtel des zusätzlichen Schnees von dem warmen Regen geschmolzen werden. In der That sind nahe acht Tonnen Wasser von 50° F. erforderlich, um

eine Tonne Schnee oder Eis zu schmelzen, selbst wenn sie schon in aufthauendem Zustand sind. Forbes nimmt an, dafs nicht mehr als ein Funfzigstel des Schnees auf den Schneefeldern von Norwegen im Sommer durch Regen geschmolzen werde; während Hr. Durocher aus den Beobachtungen, die im Kloster auf dem St. Bernhard wenig *unterhalb* der Schneelinie gemacht werden, berechnet hat, dafs nicht mehr als ein Neunzigstel des jährlichen Schnees durch den Regen gelöst wird. Somit ist der Effect der Sommerregen im Schmelzen des Winterschnees verhältnifsmäfsig unbedeutend.

2. Ist es nicht aber eine nothwendige Folge dieser Hypothese, dafs der Ocean in der verhältnifsmäfsig entlegenen protozoïschen Periode eine mit dem animalischen Leben unverträgliche Temperatur gehabt haben müsse? Diese Frage erhebt offenbar den bedenklichsten der gegen meine Ansicht zu machenden Einwürfe; defsungeachtet giebt es mehre Betrachtungen, welche ihm viel von seiner Stärke nehmen. Nach rein geologischen Zeugnissen zu urtheilen, würde die Periode, welche seit dem ersten Auftreten des maritimen Lebens verstrich, verglichen mit der zwischen der Eiszeit und der Gegenwart, als 1000 : 1 wahrscheinlich nicht unterschätzt seyn; folglich wird einleuchten, dafs wenn der Ocean z. B. um 20° F. in einer Zeit-Einheit erkaltete, er in einer weit entlegeneren Periode als 1000 solcher Einheiten sich auf der Siedhitze befunden haben müsse. Es giebt jedoch drei Umstände, welche eine solche unpassende Deduction verbieten. Fürs Erste würde die aufserordentliche Verdampfung des Wassers bei sowenig vom Siedpunkt entfernten Temperaturen den Ocean und seinen Boden rasch auf eine vergleichend mäfsige Temperatur herabgebracht haben. Zweitens mufste der übermäfsige Niederschlag welcher in den praeglacialen Zeiten herabfiel, die Ablagerung der meisten sedimentären Gesteine beschleunigt haben, in solchem Maafse, dafs das oben gegebene Verhältnifs zwischen den prae- und postglacialen Zeiten bedeutend zu grofs wird. Drittens würde der Eintritt des

strengeren Theils der Eiszeit nothwendig eine rasche Abkühlung des Oceans verursacht und somit die während der postglacialen Zeit-Einheit bewirkte Erkaltung vergröfsert haben.

Die Versuche von Dalton über die Gröfse der Verdampfung bei verschiedenen Temperaturen dienen zur Erläuterung der Wahrheit der ersten dieser Betrachtungen. Er fand, was Daniell später bestätigte, dafs die Gröfse der Verdampfung zunimmt in einer geometrischen Progression bei gleichen Anwüchsen sensibler Wärme. Aus demselben Grunde mufste die Ablagerung der meisten sedimentären Gesteine vor der Eiszeit in einem viel rascheren Verhältnifs geschehen seyn als nach derselben. In der That hängt die Gröfse der Ablagerung so wesentlich von dem Betrage des Niederschlags ab, dafs es keineswegs unwahrscheinlich ist, dafs das Verhältnifs der Abnahme von einem gewissen Punkt bis herab zur Eiszeit angenähert ebenfalls ein geometrisches war. Dadurch würde das Verhältnifs zwischen den prae- und postglacialen zoïschen Perioden bedeutend verringert seyn. Endlich mufste das Herabsinken der Schneelinie zu dem Meeresspiegel längs einer ungeheuren Küste während der Eiszeit die Wirkung gehabt haben, dafs die Temperatur des Oceans rasch verringert wurde, weil die Niederschläge auf das Land, statt das Meer zu erreichen, nachdem sie auf Kosten der Sonnenhitze erwärmt worden, nun theils als eiskaltes Wasser, hauptsächlich aber als Eis selbst in das Meer geführt wurden; und jede Tonne des letzteren würde beim Schmelzen über vierzehn Tonnen Meerwasser um 10° F. abkühlen. Es ist auch zu bedenken, dafs dieses eiskalte Wasser nicht wie in Süfswasserseen an der Oberfläche schwimmen bleiben, sondern in den benachbarten warmen Wasser untersinken würde, da nach Despretz das Maximum der Dichtigkeit des Meerwassers 6°,6 F. unter dem Gefrierpunkt des reinen Wassers liegt[1]). Alle diese Umstände in Betracht gezogen und angenommen, der Ocean habe seit der Eiszeit

1) *Ann. de chim. et de phys. vol. LXX, p.* 45.

etwa 20° F. Wärme verloren, halte ich es für möglich, dafs noch zwischen einer mit dem Leben der Seethiere unverträglichen Temperatur und jener Epoche eine hinreichende Zwischenzeit für die Entwickelung der verschiedenen die praeglacialen Meere bewohnenden Organismen übrig blieb. Für die Landthiere und Pflanzen entsteht keine solche Schwierigkeit, weil, wie schon auseinandergesetzt, die Temperatur der Oberfläche, während der ganzen Periode betrachtet, sehr wenig von der inneren Erdwärme afficirt wurde.

3. Neuere Untersuchungen haben einige Geologen zu dem Schlufs geführt, dafs die glaciale Wirkung in der Miocen- und sogar schon in der Permischen Periode stattfand; und obwohl die Belege, auf welchen dieser Schlufs beruht, keineswegs allgemein von den Geologen angenommen worden ist, so ist es doch gut hier zu bemerken, dafs eine solche entlegene Eiswirkung ganz verträglich ist mit den hier vertretenen Ansichten. In der That ist es eine nothwendige Folgerung aus diesen Ansichten, dafs die sogenannte Eiszeit keine scharfe Gränzen hatte, obwohl, aus eben angegebenen Gründen, ihr Ende wahrscheinlich viel schärfer begränzt war als ihr Anfang. Ich habe schon dargethan, dafs der ewige Schnee zuerst die Gipfel der Berge berührt haben, und dann langsam zum Meeresspiegel herabgesunken seyn würde. Allein man mufs bedenken, dafs der atmosphärische Niederschlag während der ganzen prae-glacialen Zeit gröfser war als während der Eiszeit selbst, und wo mithin das Land sich über die Schneelinie erhob, mufsten Gletscher in einem Maafsstabe, die alle jetzigen übertreffen, die nothwendige Folge seyn. Es ist, glaube ich, für einen Geologen ungemein schwierig, selbst nur angenähert die Umrisse des Landes während der Permischen Zeit anzugeben. Defsungeachtet glaubt Ramsay [1]), bei Aufstellung einer glacialen Episode während dieser Periode, er habe beträchtliche Zeugnisse von dem Daseyn einer Hügelreihe, von welchen diese Gletscher herabgekommen seyen.

1) *Proceedings of the Geolog. Soc., Aug.* 1855.

Solche Betrachtungen über die prae-glaciale Periode geben uns ein lebendiges Bild von dem damaligen Klima der Erde. Die Küsten der warmen Meere besafsen eine milde (*genial*) und merkwürdig gleichförmige Temperatur, die Luft war fortwährend warm und feucht, die Erde durch bewölkten Himmel vor der sommerlichen Sonne beschirmt und durch eine Decke (*canopy*) von durchsichtigen, für die Ausstrahlung der Erde undurchdringlichen Wasserdämpfen vor der Winterkälte geschützt. Von der Küste abwärts auf flachen Grund wurden diese Eigenthümlichkeiten allmählig schwächer; allein an einer etwas steilen Küste mufste die Annäherung von warmen und kalten Klimaten viel enger seyn als jetzt. Die Flüsse und Seen, gespeist durch den Schnee der Berge, mufsten ebenfalls einen merkbaren Contrast gegen die umgebenden Tiefländer darbieten, und somit auch auf engem Gebiete einen weiten Umfang von Temperatur, den thermischen Bekleidungen sehr verschiedener Organismen angemessen.

Als die Eiszeit hereinbrach wurde diese milde (*genial*) Zone allmählich verringert durch das fortschreitende Herabsinken der Schneelinie; denn obwohl die wirkliche, in Thätigkeit befindliche Wärmemenge an der Erdoberfläche während der Eiszeit gröfser war als später, so wurde doch die Winterkälte in den Massen des fallenden Schnees aufgespeichert, welche beim Schmelzen die Wärme des nachfolgenden Sommers absorbirten, und somit in Landstrichen, die nicht weit unter der Schneelinie lagen, sowohl die mittlere als die sommerliche Temperatur verringerten. Auch ward diefs Herabsteigen eines kalten Klimas selbst durch den Ocean nicht aufgehalten; denn der ungeheure Schub von Gletschereis in das Meer bildete längs den Küsten einen Gürtel von kaltem Wasser, wo viele maritime Organismen, welche ihre Ueberreste in den Eismassen zurückgelassen haben, eine ihnen zusagende Temperatur fanden. Die gewöhnliche Vorstellung also, dafs die Eiszeit eine kalte Periode war, ist richtig, obwohl Wärme und nicht Kälte die *Ursache* derselben war. Dieses scheinbare Pa-

radoxon, dafs Wärme die Ursache von Kälte sey, findet seine Parallele in den Eismaschinen, welche auf der letzten Londoner Ausstellung in Thätigkeit waren. In diesen Maschinen, welche 2 bis 12 Tonnen Eis auf eine Tonne Steinkohlen hervorbrachten, war das Product direct proportional der Wärmemenge, die durch die Verbrennung der Kohlen entwickelt wurde.

Diefs sind die hauptsächlichsten Einwürfe gegen die Hypothese, die sich mir darbot oder von Anderen aufgestellt ward. Ich habe mich bemüht, sie zu beseitigen; allein es würde eitel seyn zu läugnen, dafs einige derselben bedeutende Kraft behalten oder dafs andere, vielleicht noch gewichtigere von Denen aufgefunden werden mögen, die gründlichere Kenntnisse von den Phänomenen der Eiszeit besitzen, als ich in Anspruch nehmen kann. Keiner Hypothese kann man einen Werth beilegen, bevor sie nicht durch und durch geprüft worden ist, bei welchem nothwendigen Procefs sie entweder stehen oder fallen mufs. Mittlerweile empfiehlt diese sich dadurch, dafs sie nicht die Annahme von Convulsionen oder Katastrophen in der Natur erfordert, keine ungeheuren oder plötzlichen Erhebungen oder Versinkungen, und keine Veränderungen in den thermischen Beziehungen unserer Erde zu der Sonne oder dem Himmelsraum. Im Gegentheil behauptet sie, dafs die Eiszeit normal und graduell aus einem Wärmezustand des Innern der Erde hervorging, welcher schwerlich noch länger der Gegenstand von Controversen seyn kann.

Als Folgerung ergiebt sich aus dieser Hypothese, dafs die übrigen Körper unseres Sonnensystems entweder schon eine ähnliche Periode durchgemacht oder noch zu erwarten haben. Mit Ausnahme des Polareises auf dem Mars und der hellen Wolken auf dem Jupiter haben wir bisher keine sicheren Andeutungen von der thermischen oder meteorologischen Beschaffenheit der Planeten; und eben so wenig ist der physische Zustand ihrer Oberfläche unseren besten Fernröhren zugänglich. Anders verhält es sich mit dem Mond, dessen Entfernung nicht so grofs ist, um uns nicht

verhältnifsmäfsig kleine Details sehen zu lassen. Eine sorgfältige länger als ein Jahr fortgesetzte Beobachtung der Mond-Oberfläche mit einem versilberten Glasreflector von 7 Zoll Apertur und scharfer Vergröfserung, hat auf mich den Eindruck gemacht, dafs unser Satellit, wie sein Hauptplanet, eine Eiszeit durchgemacht hat, und dafs wenigstens mehre der *Thäler*, *Furchen* und *Striche* auf seiner Oberfläche nicht unwahrscheinlich von einer früheren Eiswirkung herstammen. Ungeachtet der vortrefflichen Schärfe der neueren Fernröhre, läfst sich nicht erwarten, dafs andere als die riesenhaftesten der charakteristischen Details eines alten Gletscherbodens sichtbar gemacht werden. Unter günstigen Umständen erreicht die End-Moräne eines Gletschers ungeheure Dimensionen und folglich würde, von allen Kennzeichen eines Eisthales, dieses am ersten wahrnehmbar seyn. Zwei solcher End-Moränen, eine von ihnen eine doppelte, scheinen mir auf der Mondoberfläche nachweisbar zu seyn. Die erste liegt nahe am Ende jenes merkwürdigen Strichs, welcher nahe an der Basis von Tycho anfängt, unter den südöstlichen Wall von Bullialdus vorbeigeht, in dessen Ring er einzuschneiden scheint, und sich allmählich verliert, nachdem er den Krater 216 (Lubienitzky) passirt hat. Genau diesem letzten Krater gegenüber und sich fast quer über besagten Strich ausdehnend, befinden sich zwei nordwärts gekrümmte Rücken, die den Beobachter an die concentrischen Moränen des Rhone-Gletschers erinnern. Jenseits des zweiten und äufsersten Rückens fällt ein Knorren (*talus*) allmählich nach Norden in das allgemeine Niveau der Mondsoberfläche ab. Diese Rücken sind während der ganzen Dauer der Beleuchtung dieses Theils der Mondsfläche sichtbar; allein es ist nur etwa am dritten Tage nach dem ersten Viertel und bei correspondirender Phase des abnehmenden Mondes, wenn die fast horizontal auffallenden Sonnenstrahlen die Details dieses Theils der Oberfläche in starkes Relief versetzen, dafs die Erscheinungen die eben aufgestellte Erklärung einflöfsen.

Der andere, einer End-Moräne entsprechende Rücken

findet sich am nördlichen Ende jenes prächtigen Thales, welches am östlichen Rande von Rheita vorbeigeht. Dieser Rücken ist fast halbrund und bedeutend erhaben sowohl über das nördliche Ende des Thals, als auch über die allgemeine Oberfläche des Monds. Er ist sichtbar etwa vier Tage nach Neu- und Vollmond; allein die Lage des Beobachters rücksichtlich der Lichter und Schatten machen sein Erscheinen in den Strahlen der aufgehenden Sonne bei weitem am auffallendsten.

In Bezug auf die Wahrscheinlichkeit einer früheren Wirkung des Eises oder auch nur des Wassers auf der Mondsoberfläche bieten sich anscheinend sehr grofse Schwierigkeiten dar. Es fehlt jetzt nicht nur an Beweisen für das Daseyn von Wasser in einem seiner Aggregatzustände auf der Mondsoberfläche, sondern alle selenographischen Beobachtungen scheinen im Gegentheil die Abwesenheit desselben darzuthun. Defsungeachtet ist die Idee von einer früheren Wirkung des Wassers im Mond keineswegs neu; sie wurde von Gruithuisen und Anderen gehegt. Allein, wenn Wasser auf dem Mond vorhanden war, wohin ist es verschwunden? Nehmen wir an, in Uebereinstimmung mit der Nebularhypothese, dafs die Portionen der Materie, aus welcher respective die Erde und der Mond zusammengesetzt ist, einst eine gleich hohe Temperatur besafsen, so folgt fast nothwendig, dafs der Mond, vermöge der relativen Kleinheit seiner Masse, viel rascher erkalten mufste als die Erde; denn während der Mond nur ungefähr $\frac{1}{49}$ des Volums der Erde besitzt, ist seine Oberfläche nahe $\frac{1}{13}$ derselben.

Diese Erkaltung der Mondmasse mufste, nach aller Analogie, mit einer Contraction begleitet seyn, welche schwerlich als in bedeutende Tiefen hinabgehend zu denken ist, ohne nicht das Innere mit Höhlen zu erfüllen. Viele dieser Höhlen würden ohne Zweifel durch Risse mit der Oberfläche communiciren und dadurch einen inneren Recipienten für den Ocean bilden, aus dessen Tiefen selbst die brennende Sonne der langen Mondtage ganz unfähig ist

mehr als Spuren von Wasserdampf zu entwickeln. Angenommen die starre Masse des Mondes habe sich beim Erkalten in demselben Verhältnifs wie der Granit zusammengezogen, so würde seine Erkaltung um nur 180° F. einen blasigen Raum von beinahe 14½ Millionen Kubikmeilen (engl.) erzeugen und dieser wäre mehr als hinreichend den ganzen Monds-Ocean zu verschlingen, vorausgesetzt derselbe stände zur Mondsmasse in demselben Verhältnifs wie unser Ocean zur Erdmasse.

Wenn diefs die gegenwärtige Beschaffenheit des Mondes ist, so läfst sich kaum der Schlufs vermeiden, dafs ein flüssiger Ocean nur so lange auf der Oberfläche eines Planeten bestehen kann, als letzterer eine hohe innere Temperatur bewahrt. Der Mond wird dann für uns ein prophetisches Bild des letzten Schicksals, welches unsere Erde erwartet, wenn sie, ihres äufseren Oceans beraubt, mit einer verlangsamten Axendrehung, die zwischen Monat und Jahr liegt [1]), einen oeden und leblosen Umlauf um die Sonne macht, jede Hemisphäre abwechselnd der verlängerten Gluth einer wolkenlosen Sonne und dem Dunkel einer arctischen Nacht aussetzend.

1) Mayer hat bewiesen, dafs die Wirkung der Fluthen die Axendrehung der Erde zu hemmen sucht. Und obwohl die Länge des Tages seit Hipparch's Zeiten nicht um $\frac{1}{100}$ Sekunde zugenommen hat, so läfst doch diese Thatsache die Folgerung Mayer's unangetastet.

Seitdem Obiges geschrieben ward, hat Hr. James Croll im *Philosoph. Magazine* (*Vol. XXVII*, *p.* 285) einen ausführlichen Aufsatz über diesen Einflufs der Fluthen bekannt gemacht.

III. *Ueber eine neue Klasse von Inductions-Erscheinungen*; *von J. C. Poggendorff.*

(Ein kürzerer Auszug von dieser Abhandlung ist schon in den Monatsberichten der Akadmie 1864 Juli, gegeben.)

Die hier im Auszuge mitgetheilte Untersuchung ist hervorgegangen aus derjenigen, welche ich der K. Akademie im Novembermonat des verflossenen Jahres übergab [1]).

In dieser Untersuchung zeigte ich, dafs Drahtrollen, welche in die Bahn eines Inductionsstroms eingeschaltet worden sind, die Schlagweite desselben vermöge eines in ihnen erregten Extrastromes schwächen, und ich fügte hinzu, dafs eine solche Schwächung möglicherweise bei geraden Drahtleitungen entweder gar nicht oder nur in sehr geringem Grade stattfinden werde.

Eigene Erfahrungen darüber hatte ich damals nicht, und ich unterliefs auch solche einzusammeln, weil ich in der Meinung befangen war, dafs zur Erlangung eines einigermafsen befriedigenden Resultats Drahtleitungen von mehren 1000 Fufs Länge erforderlich seyn würden, welche anzuwenden meine beschränkten Localitäten doch nicht gestattet hätten.

Spätere Ueberlegungen veranlafsten mich, wenigstens einen Versuch in dieser Richtung zu machen, und indem ich denselben ausführte und abänderte, sah ich zu meinem nicht geringen Erstaunen, dafs, ganz gegen alle Analogie, gerade oder ausgestreckte Drähte von relativ sehr unbedeutender Länge, unter gewissen Umständen, schon einen beträchtlichen Einflufs auf die Schlagweite des Inductionsstroms ausüben können. Diefs spornte mich an, der Sache weiter nachzugehen.

Das hierzu vorzugsweise benutzte Inductorium ist nur von mäfsiger Kraft. Seine secundäre Rolle enthält in zehn

1) Monatsberichte, 1863, S. 502. (Dies. Ann. Bd. 121, S. 307).

Abtheilungen ungefähr 15000 Fufs Kupferdraht von 0,25 Millm. Dicke. Es ist mit zwei primären Rollen versehen, die abwechselnd angewandt wurden. In der einen ist der Draht 1,5 Millm., in der andern 1,25 Millm. dick. Das Drahtbündel war für beide dasselbe.

Zur Unterbrechung des Stroms diente meistens der Foucault'sche Quecksilber-Unterbrecher, weil er stärkere Wirkungen giebt als der gewöhnliche Wagner'sche Hammer, der übrigens in einigen Fällen auch angewandt wurde, ohne im Wesentlichen andere Resultate zu liefern.

Der Condensator bestand für gewöhnlich aus einer belegten Glimmertafel, von dessen Stanniolblättern ein jedes 15,8 par. Quadratzoll mafs. Zuweilen wurde auch ein Condensator aus drei solchen Tafeln oder ein noch gröfserer aus Wachstaffent angewandt.

Die den inducirenden Strom liefernde Batterie war in der Regel aus drei jener kleinen Grove'schen Elemente zusammengesetzt, deren Thonzellen, eine jede, nur etwa ein Loth Salpetersäure fassen. Gröfsere Elemente sind bei dem beträchtlichen Widerstand der primären Drahtrolle überflüssig, wenn man nicht den Strom sehr lange unterhalten will; für einige Stunden reichen die kleinen vollkommen aus [1]).

1) Ein besonderes Element diente dazu, den Quecksilber-Unterbrecher in Bewegung zu setzen, um seinen Gang unabhängig zu machen von den mit dem Inductionsstrom vorgenommenen Abänderungen. Ich will nicht behaupten, dafs diese Unabhängigkeit eine absolute sey, welche man wohl nur erreichen könnte, wenn man die Strom-Unterbrechungen durch ein Uhrwerk vollziehen liefse; aber eine sehr approximative ist sie gewifs. Allerdings zeigen sich auch bei der Quecksilber-Unterbrechung auffallende Veränderungen, wenn man den übrigen Apparat in einem oder dem anderen Sinne modificirt. So wird das laute Geräusch, welches diese Unterbrechungsart für gewöhnlich begleitet, schwächer in dem Maafse als man die Pole näher zusammen schiebt; und der Ton, der sich in diesem Geräusch erkennen läfst, wird bedeutend tiefer, wenn man den Condensator ausschaltet oder die Anzahl der galvanischen Elemente vermehrt. Allein die Schwächung des Geräusches in dem einen Fall und die Vertiefung des Tons in dem andern, entspringt aus der

Erst vor wenigen Wochen, nachdem die Mehrzahl der weiterhin beschriebenen Thatsachen bereits aufgefunden worden, war ich so glücklich, aus den Werkstätten von Siemens und Halske einen jener gröfseren Apparate zu erhalten, zu welchen die K. Akademie die Mittel bewilligt hat. Derselbe enthält in seiner secundären Rolle 21000 par. Fufs Kupferdraht von 0,25 Millm. Durchmesser, und ist mit drei primären Rollen versehen, von denen aber bis jetzt nur die mit dem dicksten Draht benutzt wurde, unter Anwendung einer Batterie von sechs der genannten Grove'schen Elemente.

Aufser diesen beiden Inductorien, von denen das gröfsere zunächst nur zur Bestätigung der mit dem kleineren erhaltenen Resultate diente, wurde noch ein Hülfsapparat angewandt, welcher *Ableiter* heifsen mag.

Derselbe besteht aus einem horizontalen Platinstift, getragen von einem isolirenden Ständer, aber verbunden mit dem Erdboden durch einen dünnen Kupferdraht. Auf einem am Tische festgeschraubten Schlitten, der eine Scale besitzt, ist er verschiebbar, rechtwinklich gegen die Bahn der Funken zwischen den Spitzen des mit der Inductionsrolle durch Drähte verbundenen Mikrometers, und da letzteres wiederum vorn an dem Schlitten hin und her geschoben werden kann, so läfst sich das vordere Ende des ableitenden Platinstifts jedem Punkt der Funkenbahn und somit auch jeder der Polspitzen selbst beliebig und mefsbar nähern.

Mittelst dieses Ableiters hat man Gelegenheit verschiedene bemerkenswerthe Erscheinungen zu beobachten.

Angenommen zuvörderst, die beiden Poldrähte, d. h. die von den Enden der Inductionsrolle zu den Platinspitzen des Mikrometers führenden Drähte, seyen kurz und gleich lang, jeder von beiden etwa 8 bis 12 Zoll, und der gegen-

Verringerung und Vergröfserung, welche die Unterbrechungsfunken respective in beiden Fällen erleiden, und ist keine Anzeige, dafs sich das Tempo der Unterbrechung geändert habe.

seitige Abstand dieser Spitzen, die kurzweg Pole heifsen mögen, sey ein mittlerer in Bezug auf das Maximum der Schlagweite, welche der Apparat zu geben vermag.

Unter diesen Umständen zeigt sich nun Folgendes. Nähert man den Ableiter einem der Pole bis zu einem gewissen Abstande, so schlagen Funken zwischen beiden über, ohne dafs dadurch die Hauptfunken, nämlich die Funken zwischen den Polen, sonderlich beeinträchtigt werden.

Der Abstand, bei welchem die Nebenfunken am Ableiter zum Vorschein kommen, scheint gleich zu seyn für beide Pole, wiewohl mir auch manchmal vorkam, als sey er bei dem positiven Pol etwas, jedoch immer nur wenig, gröfser als beim negativen. Er ist ferner um so gröfser, je weiter die Pole auseinander stehen, oder anders gesagt: je länger die Hauptfunken, desto länger auch die Nebenfunken.

Bis soweit hat die Erscheinung nichts Auffälliges; aber räthselhaft scheint das Folgende zu seyn.

Nähert man den Ableiter dem positiven Pole weiter, so kommt ein Punkt, bei welchem die Hauptfunken vollständig verschwinden; nähert man ihn dagegen dem negativen Pole weiter, so werden dieselben verstärkt. Manchmal ist dazu eine wirkliche Berührung zwischen Ableiter und Pol erforderlich, manchmal dagegen treten beide Vorgänge schon bei einem kleinen Abstande ein. Wesentlich scheint zu seyn, dafs die Nebenfunken von der letzten Spitze des Pols ausgehen, wozu bisweilen erforderlich ist, dafs die Spitze des Ableiters etwas vor die Polspitze gestellt werde.

Selbst wenn man die Pole so weit auseinander gerückt hat, dafs keine Funken mehr zwischen ihnen überschlagen, äufsert sich die verstärkende Wirkung des Ableiters am negativen Pol, und gerade in diesem Falle sehr auffällig, denn, wenn man den rechten Punkt getroffen hat, werden dadurch augenblicklich die vorhin verschwundenen Hauptfunken wieder hervorgerufen.

Ueberhaupt werden die Hauptfunken durch die Wir-

kung des Ableiters breiter und heller, wogegen die Nebenfunken schmäler und lichtschwächer sind.

In dem Bisherigen wurde vorausgesetzt, dafs die Spitze des Ableiters nicht eigentlich in die Bahn der Hauptfunken, also nicht zwischen die Pole gestellt ward. Geschieht dieses, so gestalten sich die Dinge etwas anders. Man hat dann in einer und derselben Bahn zweierlei Funken: breite und helle zwischen dem Ableiter und dem entfernteren Pol, schmale und lichtschwache zwischen ihm und dem näheren Pol. Mitten zwischen den Polen haben die Funken zu beiden Seiten des Ableiters ein gleiches, aber man möchte sagen confuses Ansehen, indem sie, bei im Ganzen geringer Lichtstärke, an einigen Stellen heller, an anderen dunkler sind, und damit fortwährend wechseln. Geht man nun mit dem Ableiter von der Mitte aus auf den positiven Pol zu, so hat man anfangs die eben erwähnten zweierlei Arten von Funken schön ausgebildet, aber bei einem gewissen Abstande von diesem Pol hören mit einem Male die Hauptfunken plötzlich auf. Bei Annäherung des Ableiters an den negativen Pol sieht man nichts dem Aehnliches, im Gegentheile scheint bei einem gewissen Abstande von diesem Pol ein Maximum der Wirkung zu liegen.

Bekanntlich wird die Schlagweite der Inductionsfunken ein wenig vergröfsert, wenn man der Spitze am positiven Pol eine Kugel oder Scheibe am negativen gegenüberstellt. Es liefs sich daher vermuthen, dafs die verstärkende Wirkung des Ableiters am letzteren Pol hiermit in Zusammenhang stehe, obwohl sie sich schon ohne Berührung zeigt und selbst bei der Berührung die Spitze eines dünnen Drahts doch nur eine unbedeutende Vergröfserung der negativen Polfläche herbeiführt.

Um diesen Gedanken zu prüfen, wurde zum negativen Pol successive eine neusilberne Kugel von $2\frac{1}{2}$ Lin. Durchmesser und eine Kupferscheibe von 8 Lin. Durchmesser genommen. In der That war nun die verstärkende Wirkung des Ableiters, was Vergröfserung der Schlagweite betrifft, nicht mehr wahrzunehmen; aber es liefs sich doch

deutlich erkennen, dafs die Häufigkeit der Funken, so wie die Helligkeit derselben, besonders nach Seite des positiven Pols, wohin sie sich bekanntlich verschmälern, zugenommen hatte. Dagegen zeigte sich die schwächende Wirkung des Ableiters am positiven Pol so gut wie ungeschmälert. Bei gehörigem Abstande der beiden Pole von einander, liefsen sich die Hauptfunken vollständig fortnehmen.

Ziemlich ähnlich verhielt es sich, wenn eine Kugel zum positiven und eine Spitze zum negativen Pol genommen oder an jedem Pol eine Kugel angebracht ward [1]).

1) Alle diese Versuche wurden mit dem kleineren Inductorium angestellt. Bei Wiederholung derselben mit dem gröfseren Apparate, wobei sich die angeführten Resultate noch deutlicher herausstellten, hatte ich Gelegenhenheit eine anderweitig interessante Erscheinung zu beobachten.

Wenn man bei einem etwas kräftigen Inductorium die Polspitzen bis auf 2 bis 3 Linien zusammengeschoben hat, so unterscheidet das Auge, selbst bei mäfsig schnellem Gang des Hammers, nicht mehr einzelne Funken, sondern erblickt statt deren einen scheinbar continuirlichen Lichtstreifen von verwaschenen Umrissen, geringer Helligkeit und röthlicher Farbe.

Nähert man nun diesem Lichtstreif, etwa in der Mitte, den Ableiter ungefähr bis auf eine Linie, so wird er, wie schon Perrot beobachtete (*Ann. de chim. et de phys. Sér. III, T. LXI, p.* 200), zerlegt, in ziemlich helle Funken, die sich dem Ableiter zuwenden, und in einem schwächeren Lichtstreif, der zwischen den Polen ausgestreckt bleibt und die von Du Moncel entdeckte Eigenschaft besitzt, dafs er sich durch einen Luftstrom fortblasen oder zu krummen Lichtlinien ausdehnen läfst (*Compt. rend. XL, p.* 313).

Als ich diesen Versuch ohne Ableiter wiederholte und zwar in der Weise, dafs am negativen Pol statt der Platinspitze eine Kupferscheibe von 8 Linien Durchmesser genommen ward, stiefs ich auf folgende Erscheinungen, die, wie es scheint, Perrot und Du Moncel nicht beobachtet haben.

Unter den angegebenen Umständen und überhaupt bei relativ kleiner Schlagweite erhält man nämlich auf der Scheibe einen kleinen blauen oder bläulichen Fleck. Bläst man nun durch ein Glasrohr auf diesen Fleck, etwa unter einem Winkel von 45° gegen die Scheibe, so wird er fortgeschoben oder, richtiger, in zwei Theile zerlegt, in einen weifsen Fleck, der an der Stelle bleibt, und in eine aus lauter kleinen schön blauen Fünkchen bestehende Lichtlinie, die radial auf der Scheibe fortgeht, sich noch über den Rand der Scheibe hinaus erstreckt, und dort mit einem vom positiven Pol herkommenden gekrümmten Licht-

Hiernach und auch aus anderen später zu erwähnenden Gründen dürfte es noch zu früh seyn, sich über die Ursache der Wirkung des Ableiters schon jetzt entschieden auszusprechen.

Nach dieser Auseinandersetzung gehe ich zu dem eigentlichen Gegenstande meiner Untersuchung über, nämlich zur Betrachtung der Erscheinungen, welche durch die Wirkung langer ausgestreckter Drähte hervorgerufen werden.

Nimmt man zu einem der Poldrähte, z. B. zum positiven, einen *wohl isolirt* in der Luft ausgespannten Kupferdraht von ungefähr 20 oder auch nur 10 Fufs Länge, während der andere seine gewöhnliche Länge von 8 bis 12 Zoll behält, und läfst man nun Funken zwischen den Polen überschlagen, so bieten sich folgende drei auffallende Erscheinungen dar.

Fürs Erste sind die Funken heller und massiger, wie in dem normalen Fall, wo beide Poldrähte eine geringe Länge hatten.

Zweitens findet man mit dem Ableiter, wenn man ihn suc-

bündel von röthlicher Farbe vereint. Dieses artige Schauspiel, welches an Polspitzen nicht zu beobachten ist, beweist also, dafs das blaue negative Licht gleichen Charakter wie die sogenannte Atmosphäre der Funken besitzt, und es möchte damit schwer die Ansicht Rijke's zu vereinbaren seyn (Diese Ann. Bd. CXI, S. 618), dafs diese Atmosphäre herrühre von der Vereinigung der elektrischen Fluida, die auf den der Mitte zuliegenden Theilen des Inductionsdrahts befindlich sind, — da man doch nicht annehmen kann, dafs das blaue negative Licht einen solchen Ursprung habe.

Hinzufügen will ich noch, dafs man die sogenannte Atmosphäre auch an Funken beobachten kann, die gar nicht direct aus dem Inductorium herstammen. Die Seite 462 beschriebenen Funken, die aus den hin- und herlaufenden Strömen zweier abwechselnd geladenen und entladenen Leidener Flaschen entstehen, zeigen die Atmosphäre so gut wie die directen Funken des Apparats, nur, weil sie weniger warm sind als letztere, bei geringerer Schlagweite.

Ueberhaupt glaube ich nicht, dafs aus der *Vereinigung* beider Elektricitäten Licht entstehe, möchte vielmehr den dunklen Raum, der im partiellen Vacuo das positive Licht von dem negativen trennt, als das Resultat dieser Vereinigung ansehen.

cessiv dem *positiven* und dem *negativen* Pole nähert, daſs die Schlagweite der Nebenfunken an dem ersteren Pol *kleiner* und an dem letzteren *gröſser* ist, als in dem normalen Fall.

Drittens endlich zeigen alle Theile der primären, inducirenden Kette (Voltasche Batterie, primäre Drahtrolle, Eisenkern, Strom-Unterbrecher und Condensator), selbst wenn sie nicht besonders isolirt worden sind, *freie Elektricität*, vermöge welcher man stechende Funken bekommt, wenn man sie mit der Hand zu berühren versucht. Und wenn man diese Elektricität mit dem Elektrometer prüft, findet man sie meistens *negativ*, d. h. ungleichnamig mit der Elektricität desjenigen Pols, der mit dem langen Draht versehen ward.

Hat man dagegen den *negativen* Poldraht lang genommen und den positiven kurz gelassen, so ist die freie Elektricität auf der inducirenden Kette *positiv*, und auch mit der Schlagweite der Nebenfunken verhält es sich umgekehrt wie vorhin: sie ist am negativen Pol *kleiner* und am positiven *gröſser*, wie im normalen Fall.

Eine Abnahme in der Schlagweite der Hauptfunken ist in beiden Fällen nicht zu bemerken.

Anders verhält es sich dagegen, wenn man *beiden* Poldrähten eine gröſsere Länge giebt, z. B. von 10 oder 20 Fuſs. Dann zeigt sich die Schlagweite dieser Funken merklich verringert, oder wenigstens erscheinen sie bei derselben Schlagweite sparsamer wie im normalen Fall, aber mit noch mehr erhöhten Glanz [1]).

1) Die Bestimmung der Schlagweite oder, richtiger gesagt, des Maximums der Schlagweite unterliegt bei den Inductionsfunken einer beträchtlichen und nicht leicht zu beseitigenden Unsicherheit, dadurch nämlich, daſs nicht alle Unterbrechungen des inducirenden Stroms von gleicher Wirksamkeit sind. So lange der Abstand der Pole ein kleiner ist, erhält man bei jeder Unterbrechung dieses Stroms einen Funken aus der Inductionsrolle, so wie man ihn aber vergröſsert und der Gränze nahe kommt, bei welcher überhaupt noch Funken überspringen, versagen die Unterbrechungen häufig ihren Dienst, ungeachtet man aus der inducirenden Kette jedesmal einen Funken erhält. Man beobachtet dieſs am

Dabei findet man die Schlagweite der Nebenfunken wiederum gleich an beiden Polen, aber kleiner wie im normalen Fall.

Endlich ist die freie Elektricität auf der inducirenden Kette so gut wie vollständig verschwunden, — bis auf jene geringe Spur, welche man häufig auch bei kurzen Drähten bemerkt, wenn man entblöfste Stellen der vom Unterbrecher zum Condensator führenden Drähte leise mit der Aufsenfläche der Hand berührt.

Die *Dicke* der Drähte, welche zu der Verbindung mit den Polen genommen werden, hat auf die eben beschriebenen Erscheinungen nur einen geringen Einflufs, wenigstens innerhalb der von mir untersuchten Gränzen.

Es wurden Kupferdrähte von 0,9, von 0,25 und von 0,16 Millm. Dicke angewandt. alle 20 Fufs lang.

Paarweise die von gleichem Durchmesser zu Poldrähten genommen, gaben sie Wirkungen, die so wenig von

besten, wenn man in einem langsamen Tempo einzelne Unterbrechungen aus freier Hand vollzieht Drei und mehre Unterbrechungen sind vielleicht hintereinander wirksam, und dann folgen ebenso viele unwirksame Und doch sollte man meinen, dafs beim Quecksilber-Unterbrecher, wo die Feder des Hammers den Platinbügel aus dem Quecksilber hebt und somit den Strom unterbricht (bei dem gewöhnlichen Hammer ist es die Kraft der Feder, welche den Strom schliefst), eine jede Unterbrechung von gleichem Werthe seyn müfste.

Dafs sie es nicht ist, könnte man vielleicht herleiten von einem Schaukeln der Quecksilberfläche oder einer veränderlichen Adhäsion des Quecksilbers zum Platindraht, vermöge bald mehr, bald weniger von dem flüssigen Metall mit in die Höhe gerissen würde; — allein derselbe Uebelstand zeigt sich auch bei dem gewöhnlichen Hammer, bei welchem nur starre Metallflächen, in der Regel Platinflächen, in und aufser Contact gesetzt werden.

Wie gesagt tritt dieser Uebelstand schon bei einzelnen Strom-Unterbrechungen ein. Er hat also nichts zu schaffen mit der Erscheinung, dafs Funken von grofser Länge nur bei einem langsamen Gange des Hammers erhalten werden können.

Ueber diese Erscheinung, die nach der, mir irrig erscheinenden, Meinung Einiger davon herrühren soll, dafs der Eisendrahtbündel eine gewisse, relativ lange Zeit gebrauche, um das Maximum des Magnetismus zu erlangen, werde ich mich künftig umständlicher verbreiten.

einander unterschieden waren, dafs man sie ohne nähere Prüfung sicher für gleich gehalten haben würde. Wenn aber ein dünnerer mit einem dickeren dieser Drähte combinirt wurde, erschien sogleich freie Elektricität auf der inducirenden Kette, und die Schlagweite der Nebenfunken erwies sich ungleich, in dem Sinne, dafs daraus eine stärkere Wirkung des dickeren Drahts hervorging.

Der Unterschied in den Wirkungen war aber keineswegs so grofs, dafs man diese als umgekehrt proportional dem Widerstande der Drähte oder den Quadraten ihrer Durchmesser hätte annehmen können. Denn alsdann würden sie sich wie 1 : 2,45 : 31,64 verhalten haben, und solche Verhältnisse würden ohne Zweifel auch bei paarweiser Benutzung gleich dicker Drähte wahrnehmbar gewesen seyn.

Mehr als die Dicke ist die *Länge* der Drähte von Einflufs. Diefs ergab sich bei Anwendung von zwei 300 Fufs langen und 0,25 Millm. dicken Kupferdrähten, welche auf einem etwa 12 Fufs langen und 4 Fufs breiten Rahmen isolirt ausgespannt waren. Sie bildeten auf demselben eine einzige Lage von Windungen, deren gegenseitige Abstände ungefähr einen halben Zoll betrugen.

Gewifs wäre es zweckmäfsig gewesen, diese Abstände gröfser zu nehmen oder die Windungen ganz zu beseitigen; denn die Drähte sowohl wie ihre Windungen wirkten auf einander. Wenn der eine als Poldraht benutzt, und der andere ganz aufser aller Verbindung mit dem Inductorium gelassen wurde, gab dieser, sobald man den Apparat in Thätigkeit setzte, fühlbare Anzeigen von freier Elektricität, ungeachtet die nächsten Windungen der beiden Drähte um einen ganzen Zoll auseinander lagen und alle folgenden einen fortschreitend gröfseren Abstand hatten, auch die Drähte mit Seide besponnen und mit dem zur Anfertigung von Inductionsrollen dienenden Kitt überzogen waren [1]).

1) Die kürzeren 20 Fufs langen Drähte will ich hier bemerken, waren in der Regel, auch mit diesem doppelten Ueberzug versehen. Ich habe indefs statt ihrer in einigen Fällen auch blanke Kupferdrähte angewandt, — versteht sich immer getragen von Glasstativen — ohne bei ihnen

Bei meiner beschränkten Localität konnte dieser Uebelstand nicht beseitigt werden und gewifs hat er die Wirkung geschwächt, aber doch nicht in dem Maafse, dafs dadurch der Einflufs der Länge ganz verdeckt worden wäre.

In der That waren alle Wirkungen stärker als bei den Drähten von 20 Fufs, aber freilich nicht in dem Verhältnifs, wie man es nach der 15 Mal gröfseren Länge hätte erwarten sollen.

Als Beispiel diene die maximale Schlagweite des kleineren und des gröfseren Inductoriums, als beide durch 6 der kleinen Grove'schen Elemente animirt wurden, und jeder der beiden Poldrähte, immer bei 0mm,25 Dicke, die folgende Länge hatte:

Länge jedes Poldrahts.	Kleineres Inductorium.	Gröfseres Inductorium.
1 Fufs	$10\frac{1}{2}$ par. Linien.	33 par. Lin.
20 »	$7\frac{1}{2}$ » »	22 » »
300 »	$6\frac{3}{4}$ » »	18 » »

Die Abnahme der maximalen Schlagweite bei vergröfserter Länge der Poldrähte ist, wie man sieht, bei beiden Instrumenten eine ungefähr proportionale; doch darf darauf kein grofses Gewicht gelegt werden, einmal wegen der Unsicherheit, welche die Bestimmung dieser Schlagweite mit sich führt, und dann, weil hier noch ein anderes Element mitwirkt, auf welches ich künftig näher zurückzukommen gedenke, nämlich die *Dicke* des *primären* Drahts, der die Inductionsfunken hervorruft. Im vorliegenden Fall hatte dieser Draht in beiden Apparaten so ziemlich dieselbe Stärke, nämlich 1,5 Millm., bei einem dünneren und demgemäfs längeren primären Draht ist die Abnahme der Schlagweite mit Verlängerung der Poldrähte eine geringere.

Alles, was bisher von Drähten gesagt ist, gilt auch von langen *Metallstreifen*, wenn sie zur Polverbindung benutzt werden.

Es wurde dieses nachgewiesen an zwei Paaren Stan-

eine andere Wirkung als bei den übersponnenen und gefirnifsten wahrzunehmen.

niolstreifen von $0^{mm},01$ Dicke. Die Streifen des einen Paares waren 20 Fufs lang und 1 Zoll breit; die des andern hielten 12 Fufs in Länge und 6 Zoll in Breite, waren also an Fläche beinahe $3\frac{1}{2}$ Mal so grofs als die ersten.

In Bezug auf die Eigenschaften, bei Combination mit einem kurzen Draht, einen Spannungs-Unterschied an den Polen und demgemäfs freie Elektricität auf der inducirenden Kette hervorzurufen, kamen diese Streifen den Drähten von 20 Fufs ziemlich gleich, standen darin den Drähten von 300 Fufs nach. Aehnlich war ihr Verhalten in Bezug auf die Verkürzung der Schlagweite der Hauptfunken, wenn die von gleicher Breite paarweise als Poldrähte benutzt wurden. So erhielt ich unter gleichen Umständen wie vorhin:

Als Poldrähte:	Schlagweite des kleineren Inductoriums.	Schlagweite des gröfseren Inductoriums.
Schmale Stanniolstreifen	$8\frac{1}{2}$ Lin.	$22\frac{1}{2}$ Lin.
Breite »	$7\frac{3}{4}$ »	22,0 »

Vergleicht man diese Resultate mit den durch Drähte erhaltenen, so erweisen sie sich als nicht sehr verschieden von ihnen. Aber hinsichtlich der Beschaffenheit der Funken ist ein grofser Unterschied vorhanden. Die Funken, welche man mittelst der Stanniolstreifen bekommt, sind aufserordentlich hell und compact und erinnern durch ihren Glanz an die, welche auf bekannte Weise mit Hülfe der Leidener Flasche erhalten werden, und im Wesentlichen nichts anders sind als Entladungen dieser Flasche. Jedoch haben letztere unter gleichen Umständen eine viel geringere Schlagweite, sind heftiger und erfolgen mehr stofsweise.

Wie bei den Drähten die schwächende Wirkung weniger von der Dicke als von der Länge abhängt, so ist auch bei den Streifen die Breite oder Flächengröfse von geringem Einflufs, wenigstens auf die Schlagweite, als die Länge.

Es geht diefs schon aus den angeführten Beispielen her-

vor, da die breiten 12 Fufs langen Stanniolblätter, trotz ihrer $3\frac{1}{2}$ Mal gröfseren Oberfläche, keine sonderlich stärkere Wirkung auf die Funkenlänge ausübten als die schmalen 20 Fufs langen Streifen. Nur die Helligkeit und Massigkeit der Funken war bei ihnen eine gröfsere.

Specieller noch überzeugte ich mich hiervon, als ich zwei Stanniolblätter von nur 2 Fufs Länge, aber 1 Fufs Breite, also von 288 Quadratzoll Fläche anwandte. Sie übertrafen die 20 Fufs langen und 1 Zoll breiten Streifen noch um etwa $\frac{1}{6}$ an Flächengröfse. Dennoch gab ein solcher Streifen, combinirt mit einem dieser breiten Blätter eine entschieden stärkere Wirkung als letzteres. An seiner Seite waren die Nebenfunken ungleich kürzer und lichtschwächer als an Seite des Blattes, und auf der primären Kette erschien freie Elektricität in bedeutendem Maafse.

Die schwächende Wirkung langer Polverbindungen, mögen sie nun aus Drähten oder Streifen bestehen, ist nicht allein auf Funken oder sonstige Spannungs-Aeufserungen beschränkt, sondern erstreckt sich eben so auf die thermischen und galvanometrischen Eigenschaften des Inductionsstroms.

Als die Funken des kleineren Inductoriums eine Strecke von 3 Lin. durchsprangen, stieg das Thermometer am negativen Pol im Maximo

auf 60°,5 bei Anwendung der 1 Fufs langen Drähte, dagegen nur

auf 50°,5 bei Anwendung der 300 Fufs langen Drähte und

auf 45°,5 bei Anwendung der breiten 12 Fufs langen Stanniolblätter.

Gleichergestalt nahm die Ablenkung der Magnetnadel bedeutend ab, als die 1 Fufs langen Drähte gegen 300 Fufs lange vertauscht wurden.

Selbst in einer ganz metallischen Schliefsung des Inductionsstroms äufsert sich die Wirkung langer Poldrähte unverkennbar.

In meiner früheren Arbeit [1]) habe ich gezeigt, dafs wenn eine Drahtrolle metallisch mit dem Inductorium verbunden wird, sowohl in dieser Rolle als auf den Verbindungsdrähten freie Elektricität auftritt, die sich noch steigern läfst, wenn man ein Eisendrahtbündel in die Rolle schiebt.

Bei allen damaligen Versuchen zur Ergründung dieser Erscheinung wurden zur Verknüpfung der Rolle mit dem Inductorium kurze Drähte angewandt. Als jetzt bei einer Rolle von 10000 Fufs langem und $\frac{1}{6}$ Millm. dickem Draht, der eine dieser Verbindungsdrähte durch einen 300 Fufs langen Draht ersetzt ward, zeigte sich die freie Elektricität auf dem andern kurz gelassenen Draht so gesteigert, dafs mit dem Ableiter Funken von $1\frac{1}{2}$ Lin. Länge aus ihm gezogen werden konnten.

Dabei kam auch freie Elektricität auf der primären Kette zum Vorschein, von welcher bei kurzen Verbindungsdrähten nichts zu spüren ist.

Die Drahtrolle verhält sich also ähnlich wie die Funkenstrecke bei den vorhergehenden Versuchen, mit dem Unterschiede nur, dafs die Wirkungen weniger kräftig sind.

Die Hinzuziehung der Leidener Flasche zu den bisher beschriebenen Versuchen giebt zu einer ganzen Reihe von Erscheinungen Anlafs, die sich, glaube ich, nicht alle voraussehen lassen und daher wohl einer Erwähnung verdienen. Ich will hier nur einige derselben beschreiben.

Es macht keinen Unterschied in der Funkenlänge, wenn man die beiden Poldrähte, die etwa $1\frac{1}{2}$ Fufs lang seyn mögen, die eine z. B. die *äufsere* Belegung zweier *isolirter* Leidener Flaschen berühren läfst, wenigstens wenn die Flaschen klein sind. Bei Anwendung von Flaschen, deren Belegung auf jeder Seite 40″□ betrug, erhielt ich von dem gröfseren Inductorium 30‴ lange Funken, wie ohne dieselben. Zwei Franklin'sche Tafeln von doppelt so grofser Belegung statt der Flaschen angewandt, gaben dieselben

1) Ann. Bd. 121, S. 307.

Resultate. Zwei noch gröfsere Tafeln von 2½ □Fufs einseitiger Belegung verhielten sich ziemlich ebenso.

Wenn man nun aber die *innere* Belegung der einen Flasche *ableitend* mit dem Erdboden in Verbindung setzt, sinkt die Funkenlänge sogleich bedeutend, in meinem Falle von 30 auf 22, und dabei zeigt sich auf der primären Kette ein sehr ansehnlicher Grad von freier Elektricität. Noch mehr verringert wird die Schlagweite der Funken, wenn man auch die innere Belegung der anderen Flasche ableitend berührt. Dann verschwindet auch die freie Elektricität auf der primären Kette.

Bei diesem leicht erklärlichen Versuche ist es gleichgültig, an welcher Stelle die Flaschen die Poldrähte berühren.

Ein Anderes ist es, wenn man die *äufseren* Belege der Flaschen mit den Enden der Inductionsrolle und die *inneren* mit den Polspitzen des Mikrometers oder umgekehrt *erstere* mit dem Mikrometer und *letztere* mit der Inductionsrolle verbindet, so dafs jeder der Poldrähte durch eine Leidener Flasche unterbrochen ist.

Man erhält dann glänzende Funken, entstehend aus hin- und herlaufenden Strömen der abwechselnd geladenen und entladenen Flaschen, wie man diefs durch Einschaltung einer Geifsler'schen Röhre deutlich nachweisen kann.

Dafs diese Funken an Glanz und Schlagweite abnehmen, wenn man die von den Flaschen zum Mikrometer führenden Drähte verlängert, ist wohl natürlich. Aber unerwartet würde man es sicher, ohne die analogen Erfahrungen, nennen müssen, dafs auch die Verlängerung der anderen Drähte, die von den Flaschen zu der Inductionsrolle leiten, eine ähnliche Verkürzung der Funken bewirken. Es war nämlich bei

Drahtlänge.	Schlagweite.
1 Fufs	16‴
20 »	14‴
300 »	13‴

Der Glanz der Funken schien dabei nicht afficirt zu werden.

Auch noch in einem dritten Falle äufserte sich der Einflufs der Drahtlänge in bemerkenswerther Weise.

Ich verband die *äufseren* Belege zweier Flaschen einerseits mit der Inductionsrolle, und andererseits mit dem Mikrometer durch Drähte, von denen die ersteren hier kurzweg *Lader* und die letzteren *Entlader* heifsen mögen; und aufserderm verknüpfte ich die *inneren* Belege beider Flaschen mit einander durch einen Draht, den ich *Verbindungsdraht* nennen will.

Einfache Poldrähte von 1 Fufs Länge gaben, wie vorhin erwähnt, Funken von 30‴ Schlagweite. Gegen diese hatten nun die Funken bei der eben beschriebenen Vorrichtung eine sehr geringe Länge.

Es betrug nämlich, als Lader und Entlader jeder 1 Fufs lang war, die Schlagweite nur 8‴ und die Funken waren sehr stark, glänzend und reichlich.

Als die Lader 300 Fufs und die Entlader 1 Fufs in Länge mafsen, betrug die Schlagweite gar nur 6‴ und die Funken waren auch noch stark und glänzend, doch in geringerem Grade.

Als endlich die Lader 1 Fufs und die Entlader 300 Fufs lang waren, hatte sich zwar die Schlagweite nicht weiter vermindert, aber die Funken waren schwach.

In diesen Versuchen war der *Verbindungsdraht* immer 1 Fufs lang. Bei dieser Länge gab er schwache Anzeigen von freier Elektricität, allemal wenn ein Funke zwischen den Polspitzen übersprang. — Diese Elektricität steigerte sich, als der Draht verlängert wurde, in dem Maafse, dafs ich aus dem 300füfsigen Draht, trotz seines Seidenüberzuges und Firnisses, 1½ Lin. lange Funken ziehen konnte. Ich glaube, dafs man eher das Gegentheil hätte erwarten können, eine Abnahme der freien Elektricität mit Verlängerung des Verbindungsdrahtes.

Es kann nun wohl die Frage aufgeworfen werden, was die Ursache aller der beschriebenen Erscheinungen sey.

Dafs diese keine Widerstands-Phänomene seyn können ist wohl vorweg klar, denn Drahtlängen von 10, 20 und selbst 300 Fufs sind doch zu unbedeutende Bruchtheile von den 15 und 21 Tausend Fufs Draht der angewandten Inductionsrollen, als dafs sie vermöge ihres Widerstandes die angeführten Erscheinungen hervorzurufen im Stande gewesen wären.

Zweitens *verschwinden alle diese Erscheinungen vollständig, so wie man die Drähte aufrollt,* wodurch doch ihr Widerstand nicht geändert wird.

Hiervon überzeugte ich mich als ich die 20füfsigen Drähte von $0^{mm},25$ und $0^{mm},9$ Dicke auf Glasröhren wickelte, in solcher Weise, dafs sie nur eine einzige Lage von Windungen bildeten, damit keine Funken zwischen diesen übersprängen, was auch hierdurch und durch den gut isolirenden Ueberzug der Drähte vollkommen verhütet ward.

Ein so aufgewickelter Draht combinirt mit einem ausgestreckten von geringer Länge, gab keine Spur von Spannungs-Unterschied an den Polen oder von freier Elektricität auf der inducirenden Kette; und wenn auf jeder Seite der Funkenbahn ein solcher Draht eingeschaltet ward, zeigte sich auch keine Verringerung in der Schlagweite der Hauptfunken. Der einzige Unterschied zwischen der Wirkung der langen aufgerollten und der der kurzen ausgestreckten Drähte bestand darin, dafs bei ersterer die Funken spitzer oder schmäler waren als bei letzterer.

Bei den $0^{mm},9$ dicken Drähten halten sich, vermöge ihrer Steifigkeit, die Schraubenwindungen in freier Luft, und diefs gestattet, sie durch Ausziehen beliebig von einander zu entfernen, während der Strom durch sie hingeht. Auf diese Weise fand sich, wie vorauszusehen, dafs der aufgerollte Draht sich desto mehr einem ausgestreckten nähert, je weiter man ihn auseinander zieht; aber selbst bei einem Abstand von $1\frac{1}{2}$ Lin. und mehr zwischen den Windungen war der dämpfende Einflufs dieser noch nicht aufgehoben.

Bekanntlich wirken die Windungen eines aufgerollten Drahts inducirend aufeinander. Es scheint demnach natür-

lich zu seyn, die dämpfende Wirkung derselben dieser Induction zuzuschreiben. Als indefs 60 Fufs des $0^{mm},25$ dicken Drahts in zwei Lagen auf eine Glasröhre gewickelt wurden, auf solche Weise, dafs die Windungen der äufseren Lage denen der inneren entgegenliefen, waren die Wirkungen, welche der Draht im ausgestreckten Zustande gezeigt haben würde, eben so vollständig vernichtet, wie wenn die Windungen gleiche Richtung in beiden Lagen gehabt hätten. Und doch mufste hier die Induction, wenn auch nicht ganz, doch wenigstens gröfstentheils aufgehoben seyn.

In Zusatz hierzu sey auch bemerkt, dafs gleich wie Drahtrollen nicht die Eigenschaften ausgestreckter Drähte besitzen, sie auch nicht die Wirkungen derselben verringern oder aufheben. Ein ausgestreckter langer Draht oder Stanniolstreif mit einer Drathrolle verbunden, wirkt genau ebenso wie ohne diese Rolle. Es zeigt diefs abermals, dafs der Widerstand hier ohne alle Bedeutung ist.

Allein den schlagendsten Beweis dafür liefert die merkwürdige Thatsache, *dafs es*, um die oft erwähnten Erscheinungen hervorzurufen, *gar nicht nöthig ist*, *die langen Drähte oder Stanniolstreifen* von dem *Inductionsstrom durchlaufen zu lassen, sondern dafs es vollkommen hinreicht, sie* — natürlich im gut isolirten Zustande — *mit einem ihrer Enden irgend wo an die kurzen Poldrähte anzuhängen, während man das andere frei in der Luft auslaufen läfst.*

Oft wiederholte und abgeänderte Versuche überzeugten mich von der Richtigkeit dieses Satzes; selbst in der Stärke der verschiedenen Erscheinungen konnte ich keinen Unterschied bemerken, es mochten die Drähte oder Streifen in den Strom eingeschaltet oder ihm blofs angehängt seyn.

Diese Thatsache, verbunden mit der zuvor angeführten, dafs Drahtrollen die Wirkung ausgestreckter Drähte nicht schwächen, liefert ein einfaches Mittel, mit einem einzigen Draht den Einflufs verschiedener Drahtlängen zu untersuchen.

Dazu genügt es, den Draht auf eine isolirende Rolle aufzuwickeln und das freie Ende desselben mit einem der

Poldrähte zu verbinden. Man wickelt dann wiederum so viel von dem Drahte ab, als man gerade untersuchen will.

Auf diese Weise habe ich einen 200 Fufs langen Draht von 10 zu 10 Fufs untersucht, um zu sehen, ob sich bei dieser successiven Verlängerung des Drahts irgend eine Periodicität in der Wirkung zeigen würde. Allein es war nicht der Fall. Die Wirkung nahm fortdauernd, obwohl langsam mit der Verlängerung zu.

Gleichwie die Wirkung langer ausgestreckter Drähte nicht einem Widerstande beigemessen werden kann, eben so wenig läfst sie sich einer theilweisen Ableitung der Elektricität nach dem Erdboden zuschreiben; denn die Drähte und Stanniolstreifen waren aufs beste isolirt.

Wohl aber läfst sich einsehen, warum, wenn die Spannung an einem Pole der Inductionsrolle durch irgend eine Ursache geschwächt worden ist, dadurch freie Elektricität auf der inducirenden Kette zum Vorschein kommen mufs. Es wirkt nämlich der Strom der Inductionsrolle, wenn er durch Funken unterbrochen ist, in doppelter Weise auf die primäre Rolle: *inducirend* und *influencirend* [1]). In dem gewöhnlichen Fall, wo die Poldrähte beide kurz sind, und auch in dem, wo beide lang sind, ist die von beiden Hälften der Inductionsrolle ausgeübte Influenz gleich stark, und die Wirkung auf die inducirende Rolle wird aufgehoben. Ist aber durch Schwächung der Spannung die Influenz der einen Hälfte jener Rolle geschwächt, so überwiegt die der anderen Hälfte und ruft freie Elektricität auf der inducirenden Kette hervor. Daher erscheint denn auch hier allemal freie Elektricität, so wie man einen der Pole der Inductionsrolle auf irgend eine Weise ableitend berührt.

1) Diese Wirkung ist hier, meiner Ansicht nach, eine abwechselnde. Kurz vor dem Ueberspringen eines Funkens, wo sich auf beiden Hälften des Drahts viel freie Elektricität befindet, wirkt dieser influencirend auf benachbarte Körper; im Moment des Ueberspringens, also im Moment der Bildung eines Stromes, findet dagegen die inducirende Wirkung statt.

Durch alle diese Betrachtungen wird indefs die Wirkung der langen ausgestreckten Drähte nicht erklärt. Ich kam daher auf den Gedanken, dafs hierbei vielleicht hin- und herlaufende Ströme erzeugt werden möchten.

Ich verband demnach zuvörderst Geifsler'sche Röhren und andere evacuirte Glasgefäfse mit der Inductionsrolle, in solcher Weise dafs ich die Poldrähte entweder beide kurz oder beide lang, oder den einen kurz und den andern lang nahm. Alle diese Veränderungen waren aber gleichgültig. Selbst Stanniolstreifen, die einen so entschiedenen Einflufs auf die Beschaffenheit der Funken ausüben erwiesen sich hier als völlig wirkungslos. Immer waren die Erscheinungen denen gleich, welche einem einfachen, in einer einzigen Richtung gehenden Strome zukommen. Auch war bei ungleicher Länge der Poldrähte nichts von freier Elektricität auf der inducirenden Kette wahrzunehmen.

Es ging hieraus hervor, dafs zum Auftreten der oft genannten Erscheinungen nothwendig Funken in freier Luft mit in der Schliefsung begriffen seyn müssen.

Ich änderte daher die eben beschriebenen Versuche in der Weise ab, dafs ich das Funkenmikrometer zunächst mit einer Geifsler'schen Röhre verband und darauf dieses System durch Poldrähte mit der Inductionsrolle verknüpfte, so dafs der Strom nach einander durch Luft von gewöhnlicher Dichte und durch Luft oder Gas in stark verdünntem Zustand gehen mufste.

Bei Anwendung zweier kurzen Poldrähte oder eines kurzen und eines langen Drahts waren die Erscheinungen durchaus dem vorhergenannten gleich; nur durfte, um dieselben ununterbrochen zu erhalten, den Funken keine zu grofse Schlagweite gegeben werden.

Als indefs *zwei* lange Drähte oder Stanniolstreifen zur Polverbindung benutzt wurden, einer auf jeder Seite des genannten Systems, entweder eingeschaltet in die Strombahn oder ihr blofs angehängt, trat eine merkwürdige Veränderung ein.

Die Geifsler'sche Röhre nämlich, die bis dahin, aufser

dem positiven geschichteten Lichte, welches mit weifslicher Farbe den gröfsten Theil ihrer Länge erfüllte, nur ein *blaues* Licht am *negativen* Ende gezeigt, liefs jetzt, in Zusatz dazu, am *positiven* Ende ein schön *gelbes* Licht sehen, ähnlich in Farbe dem gelben Uranglase. Dasselbe umgab den in dieses Ende hineinreichenden Metalldraht ringsum und war gegen den übrigen Theil der Röhre scharf abgeschnitten, erfüllte das Innere der Röhre offenbar nicht, sondern ging sichtlich von dem Glase aus, das glänzend durchsichtig erschien, — kurz es war das anderweitig schon bekannte Fluorescenzlicht [1]).

Aber von dem blauen Lichte, welches sonst diese Fluorescenz zu erzeugen pflegt, war merkwürdigerweise im Innern des positiven Theils der Röhre nichts zu erblicken. Im Gegensatz dazu entwickelte, eben so merkwürdig, das blaue Licht am negativen Ende so gut wie keine Fluorescenz im Glase, denn nur die äufserste Kuppe der Röhre zeigte daselbst in geringer Ausdehnung einen schwachen gelblichen Schein.

Ohne die Funken in freier Luft erhält man, wie gesagt, selbst mit langen Poldrähten diese Erscheinung nicht; aber auch mit den Funken bekommt man sie nicht bei jeder Schlagweite.

Wenn man die Polspitzen des Mikrometers, nachdem sie zuvor in Contact gesetzt worden, langsam auseinander rückt, so sieht man bis zu einem Abstande von einer halben oder ganzen Linie nichts als die gewöhnliche Erscheinung, d. h. blaues Licht am negativen Ende und geschichtetes Licht im übrigen Theil der Röhre. Erst bei fernerer Vergröfserung des Abstandes tritt die gelbe Fluorescenz am positiven Ende auf und wird nach und nach immer deutlicher.

Geht man noch weiter, so gelingt es einen Punkt zu erfassen, bei welchem das Phänomen in eine neue Phase

1) Eine Umkehrung der Röhre änderte nichts an dieser Erscheinung, zum Beweise, dafs sie nicht etwa aus einer besonderen Beschaffenheit des Glases an dem einen Ende der Röhre hervorgegangen war.

tritt, indem die Schichtung des positiven Lichts und der dunkle Raum zwischen diesem und dem negativen Licht vollständig verschwinden. Die ganze Röhre, von einem bis zum anderen Ende, zeigt sich nun erfüllt von einem homogenen violettlichen Nebellicht, welches zu dem unverändert gebliebenen gelben Fluorescenzlicht am positiven Ende im lebhaftesten Contraste steht.

Diefs schöne Phänomen erfordert eine gewisse, nicht zu grofse Intensität des Inductionsstroms. Am ausgebildetsten mit vollkommener Ausschliefsung aller Schichtung, erhielt ich es mittelst des kleineren Inductoriums, wenn es durch den dünneren seiner primären Drähte angeregt wurde.

Dasselbe zeigt sich übrigens mit und ohne Anwendung des Condensators; mit demselben jedoch lichtstärker. Auch wird es etwas modificirt, wenn man im Mikrometer die Funken zwischen einer Spitze und einer Scheibe überschlagen läfst. Bildet die Scheibe den negativen Pol, so ist Alles wie vorhin; bildet sie aber den positiven Pol, so entwickelt das blaue Licht am negativen Ende der Röhre eine stärkere gelbe Fluorescenz als zuvor, und am positiven Ende ist diese Fluorescenz schwächer, jedoch immer ohne Anzeige von blauem Licht.

Eine zweite Geifsler'sche Röhre bot unter den obigen Umständen, im Ganzen genommen, dasselbe Schauspiel dar.

Sie unterschied sich von der vorigen nur durch ein Paar Eigenschaften. Fürs Erste zeigte sie nämlich am *negativen* Ende kein *blaues* Licht, sondern statt dessen ein *weifsliches*, vermuthlich weil bei ihrer Anfertigung der entsprechende Draht mit einer Spur irgend einer fettigen Substanz beschmutzt worden, da diefs nach Hrn. Magnus Beobachtung eine solche Farbenveränderung nach sich zieht. Zweitens rief diefs weifsliche Licht schon unter gewöhnlichen Umständen, d. h. bei kurzen Poldrähten und ohne Hülfe von Funken in der Schliefsung, eine starke gelbe Fluorescenz an derselben Seite hervor.

Bei Verknüpfung mit langen Poldrähten und dem Funkenmikrometer trat dieser negativen Fluorescenz noch die

positive hinzu, so dafs dann beide Enden der Röhre mit gelber Farbe erglänzten, während der mittlere Theil von geschichtetem weifslichem Lichte eingenommen ward, welches sich durch angemessene Vergröfserung der Schlagweite in das vorhin erwähnte violettliche Nebellicht auflösen liefs.

Ungeachtet in beiden Röhren die gelbe Fluorescenz am positiven Ende von keinem blauen Licht begleitet war, welches sie hätte hervorrufen können, so nehme ich doch keinen Anstand, aus den angeführten Versuchen den Schlufs zu ziehen, dafs lange ausgestreckte Drähte, sobald sie zu beiden Seiten der Funkenbahn angebracht sind und die Schlagweite der Funken eine gewisse Gröfse besitzt, zur Bildung von hin- und herlaufenden oder Doppelströmen Anlafs geben.

Bestärkt in diesem Schlufs sehe ich mich durch das Verhalten einer dritten Röhre, die ich vor längerer Zeit von Hrn. Dr. Paalzow erhielt. Diese nur 5 Zoll lange und 4 Lin. dicke Röhre ist offenbar nicht sehr luftleer; denn sie zeigt unter gewöhnlichen Umständen d. h. bei kurzen Poldrähten, nichts von Schichtung, sondern statt deren einen gelblich weifsen compacten und ziemlich scharf begränzten Lichtfaden, der sich von der Spitze des positiven Drahts bis nahe zum negativen Draht erstreckt, während letzterer mit blauem Licht überzogen ist.

Dieselbe Erscheinung bietet diese Röhre dar, wenn man sie durch lange Drähte mit der Inductionsrolle verknüpft und zugleich ein Funkenmikrometer in die Schliefsung eingeschaltet hat, — vorausgesetzt, dafs den Funken eine kleine Schlagweite gegeben ist. So wie man aber diese Schlagweite vergröfsert, fängt auch der positive Draht an, sich mit blauem Lichte zu überziehen, obwohl nicht so stark wie der negative. Hier hat man also eine untrügliche Anzeige, dafs der Strom anfangs ein einfacher und später ein doppelter ist.

Von gelber Fluorescenz ist an dieser Röhre keine Spur zu sehen. Dagegen zeigt sie eine andere Erscheinung, die ungemein auffallend ist. Von dem Moment an nämlich,

wo nach eben genannter Anzeige der einfache Strom in einen doppelten übergeht, bläht sich der gelblichweifse Lichtfaden zwischen den Drähten zu einer intensiv violetten Lichtmasse auf, welche diesen mittleren Theil der Röhre seinem ganzen Querschnitt nach erfüllt. Der Contrast mit der anfänglichen Erscheinung, die man durch einen die Polspitzen verbindenden Drahtbügel augenblicklich wieder herstellen kann, ist ein aufserordentlicher.

Nach allen diesen Erfahrungen schien es interessant, ja nothwendig zu seyn, das Verhalten unzweifelhafter Doppelströme vergleichend zu untersuchen. Solche Ströme erhält man am leichtesten, wenn man in die Bahn der Inductionsfunken eine Franklin'sche Tafel einschiebt. Als nun diefs Verfahren bei den Geifsler'schen Röhren angewandt wurde, fand sich dadurch die gelbe Fluorescenz am positiven Ende derselben verstärkt, zugleich kam aber auch daselbst ganz unverkennbar blaues Licht zum Vorschein, was ohne Franklin'sche Tafel nicht sichtbar war. Aehnlich verhielt es sich mit der dritten Röhre.

Es sind also doch die supponirten Doppelströme etwas verschieden von den ächten, vermuthlich weil bei ersteren die Ströme der einen Richtung denen der anderen nicht ganz gleich sind. Damit stimmt auch überein, dafs bei mehren Versuchen, bei welchen blofs das Funkenmikrometer durch zwei lange Drähte oder Stanniolstreifen mit der Inductionsrolle verbunden war, die Temperatur sich am negativen Pol stets gröfser als am positiven ergab, was bei hin- und herlaufenden Strömen von gleicher Stärke nicht hätte der Fall seyn können.

Wie dem aber auch seyn mag: die Bildung hin- und herlaufender Ströme unter den obigen Umständen kann wohl keinem Zweifel unterliegen. Allein auf welche Weise sie durch ausgestreckte Drähte und Streifen erzeugt werden, weshalb sie nur unter Mitwirkung von Funken zu Stande kommen, warum diese Drähte und Streifen zu beiden Seiten der Funkenbahn angebracht seyn müssen, — darüber, so wie über manche andere Fragen, wage ich mich für

jetzt noch nicht auszusprechen, um so mehr als sich die übrigen Eigenschaften ausgestreckter Drähte und Streifen keineswegs auf das Daseyn solcher Doppelströme zurückführen lassen.

Bietet sich hier auch mehr als eine Hypothese dar, so halte ich es doch für besser sie zurückzuhalten, als eine Erklärung aufzustellen, welche ich bei weiterer Verfolgung des Gegenstandes, wie ich sie beabsichtige, vielleicht zurücknehmen müfste.

IV. *Ueber das lange Spectrum des elektrischen Lichts; von G. G. Stokes.*

(Schlufs von S. 48 — In der ersten Hälfte dieser Abhandlung S. 42 und 46 sind die Figuren unrichtig numerirt. Man hat Fig. 6 und 7 Taf. II statt Fig. 1 und 2 zu lesen).

Ich habe eine grofse Anzahl von Mineralen mittelst der Strahlen des Inductionsfunkens sowohl auf ihre Durchsichtigkeit als ihre Fluorescenz untersucht. Die Durchsichtigkeit derjenigen, die es ihrer Form nach gestatteten, wurde untersucht, indem man sie vor einem auf einem fluorescirenden Schirm gebildeten reinem Spectrum hielt. Die Fluorescenz wurde geprüft, indem man mittelst der 2,5zölligen Linse ein Bild von dem zwischen Aluminium-Elektroden erhaltenen Funken bildete, das Mineral erst im Brennpunkt der sichtbaren Strahlen hielt, dann gegen die Linse hin bewegte und nun ein von den brechbareren Strahlen geformtes Bild aufsuchte. So wie man dieses gefunden, wurde dessen Natur fernerweitig geprüft, indem man ein sehr dünnes Stück Glimmer in die Bahn der Strahlen einschaltete. Diefs nahm das Bild fort, indem es die unsichtbaren Strahlen auffing, für welche, mit Ausnahme einer kleinen Portion von der niedrigsten Brechbarkeit, der Glimmer äufserst opak ist.

Kohlensaurer Kalk, schwefelsaurer Kalk, Baryt und Strontian, so wie farbloser Flufsspath erwiesen sich als transparent (schwefelsaurer Strontian am wenigsten), mindestens in dem oben angegebenen Sinn, bewiesen somit die Transparenz der Kohlen-, Schwefel- und wahrscheinlich Fluorwasserstoff-Säure und auch der Basen Kalk, Baryt und Strontian. Doch dieser Theil des Gegenstandes würde besser bei künstlich bereiteten Salzen verfolgt werwerden und ist auch schon vom Dr. Miller untersucht worden. In beiden Fällen wurden Resultate von bedeutendem Interesse in Bezug auf Fluorescenz erlangt.

Zur Zeit als ich meinen ersten Aufsatz über die Veränderung der Brechbarkeit des Lichtes schrieb, hatte ich ein Mineral aufgefunden, den gelben Uranit, dessen wesentliche Bestandtheile offenbar mit Fluorescenz begabt sind [1]). Vor und nach der Zeit habe ich mittelst Sonnenlicht an mehren andern Mineralen Fluorescenz beobachtet, die aber offenbar unbekannten Unreinigkeit angehörte und deshalb meines Erachtens ein viel geringeres Interesse hatte. Mittelst des Inductionsfunkens habe ich nun noch ein fluorescirendes Mineral aufgefunden [2]).

Als ich das Bild mit Adular auffing und denselben für Strahlen von höchster Brechbarkeit in den Brennpunkt einstellte, sah ich ein Paar blauer Flecke, welche die Bilder der durch Fluorescenz sichtbar gemachten Elektrodenspitzen waren. Da die Erscheinung immer dieselbe war auf natürlichen und auf Spaltungsflächen, so auch auf Feldspath von verschiedenen Fundorten, so ist sie unzweifelhaft eine Eigenschaft des kieselsauren Thonerde-Kali, aus welchem das Mineral besteht. Einige Exemplare zeigten allerdings die Erschei-

1) *Philosoph. Transact.* 1852 *p.* 524 (Ergänzbd. IV, S. 177).

2) Die Methode, nach welcher Hr. E. Becquerel die Fluorescenz von Mineralien untersucht hat, *Annales de chim. et de phys. Ser. III. Vol. LVII, p.* 43) erlaubt nicht das Mineral aus der Entfernung von wenigen Zollen deutlich zu sehen, und doch scheint mir dieses nothwendig, damit der Beobachter beurtheilen könne, ob die wahrgenommene Fluorescenz den wesentlichen Bestandtheilen des Krystalls oder zufälligen Unreinigkeiten angehöre.

nung nicht so stark wie Adular oder Mondstein; allein diefs läfst sich leicht durch die gröfsere Reinheit der letzteren Varietäten erklären. Denn die Fluorescenz erstreckte sich in den Krystall bis zu einer sehr merklichen, obwohl kleinen Tiefe, und dennoch wurden die Strahlen, welche sie hervorbrachten, durch ein Glimmerblatt viel dünner als Papier fortgenommen. Die intensive Opacität des Glimmers rührt ohne Zweifel von Eisenoxyd her, welches dennoch nicht mehr als 5 Proc. des Minerals ausmacht. Ein sehr kleiner Gehalt von Eisenoxyd oder einer anderen Unreinigkeit von ähnlichem Absorptionsvermögen würde also hinreichen, die Menge des ausgesandten fluorescirenden Lichtes bedeutend zu verringern.

In einem concentrirten Bündel Sonnenlicht, das durch ein geeignetes Absorptionsmittel gegangen war, zeigte der Adular nicht die geringste Anzeige von Fluorescenz, in welcher Hinsicht er vom gemeinen Glase, z. B. Fensterglase, bedeutend abweicht.

Den anderen Fall von Interesse bietet eine besondere Varietät von Flufsspath, von *Alston-Moor* in *Cumberland*, dar. Diese Varietät ist sehr blafs im durchgelassenen Licht, ist zum Theil von bräunlicher Purpurfarbe, zeigt eine starke blaue Fluorescenz und ist, dem elektrischen Funken ausgesetzt, ungemein phosphorescirend. Wenn man einen solchen Krystall den zwischen Aluminium-Elektroden überspringenden Funken aussetzt, so zeigt er aufser der gewöhnlichen blauen Fluorescenz eine andere von röthlicher Farbe, die sich nicht ganz so weit in den Krystall erstreckt. Fängt man das Bild des Funkens mit dem Krystall auf und bewegt ihn aus dem Brennpunkt der unsichtbaren Strahlen nach der Linse hin, so kommt er bald in den Brennpunkt der Strahlen, welche die blaue Fluorescenz erzeugen. Er mufste der Linse noch näher gebracht werden, ehe er in den Brennpunkt der Strahlen kam, welche die röthliche Fluorescenz hervorbrachten; er befand sich dann in dem Abstande, bei welchem auf dem Uransalz ein scharfes Bild von den Elektrodenspitzen entstand. Diefs

beweist, dafs die röthliche Fluorescenz von den Strahlen erzeugt wird, die zu den äufserst brechbaren, hellen Linien (als Ganzes betrachtet) des Aluminiums gehören.

Der Krystall, welcher diese Erscheinung am besten darbot war äufserlich farblos bis zur Tiefe von etwa $\frac{1}{20}$ Zoll und diese Schicht zeigte, auf diese Weise untersucht, keine Fluorescenz. Dann kamen eine oder zwei Schichten parallel den Flächen des Würfels, welche die röthliche Fluorescenz zeigten und anscheinend die Strahlen, welche diesen Effect hervorzubringen vermochten, erschöpften. Die blaue Fluorescenz erstreckte sich viel tiefer und zeigte ein geschichtetes Ansehen, wie Sir David Brewster vor langer Zeit beobachtete.

Liefs man ein durch eine Quarzlinse verdichtetes Lichtbündel eine Würfelfläche parallel streifen, so dafs es durch die farblose Schicht gehen mufste, so wurde in derselben die röthliche Fluorescenz bemerkt, die sich bis weit von der Fläche des Eintritts der Strahlen erstreckte, zum Beweise der Transparenz des Fluorcalciums für die Strahlen von sehr hoher Brechbarkeit.

Die Eigenschaft, unter den ausschliefslichen Einflufs von äufserst brechbaren Strahlen einen sowohl markirten Effect zu geben, macht einen solchen Krystall zu einem nützlichen Instrument für die Untersuchung. Aufser dem Aluminium zeigen noch verschiedene andere Metalle die röthliche Fluorescenz; aber keins der von mir untersuchten zeigt sie so gut, theils weil sie offenbar von Aluminium-Elektroden reichlicher hervorgebracht, theils weil sie weniger durch die blaue Fluorescenz verdeckt wird, indem das Aluminium-Spectrum bis auf die Region der äufsersten Brechbarkeit etwas lichtschwach ist.

Hält man den Krystall nahe an die Elektroden und beobachtet, während man deren gegenseitigen Abstand verändert, so findet man, dafs von der gröfsten Schlagweite ausgehend die röthliche Fluorescenz sich entschieden verbessert. Bei fernerer Verringerung der Schlagweite scheint sie noch mehr zuzunehmen; allein ob diefs eine wirkliche

Zunahme ist oder nur ein zunehmendes Ueberwiegen über die blaue, ist auf diese Weise nicht sicher zu ermitteln. Die Reichlichkeit der sehr brechbaren Strahlen nimmt also anfangs zu, und fährt fort *relativ*, wenn nicht absolut zu wachsen an. Es ist vorausgesetzt, dafs die Leidener Flasche hinreichend grofs sey, um zu verhüten, dafs die Entladung in das ausarte, welches weiterhin als Bogen-Entladung beschrieben werden wird.

Hält man den Krystall dicht an den Unterbrecher, wenn die secundären Pole getrennt werden, und vergleicht den Effect mit dem der secundären Entladung (mit Verknüpfung einer Leidener Flasche, wie immer vorausgesetzt), während die Elektroden zum besseren Vergleiche von Platin sind, so ergiebt sich, dafs die Menge der Strahlen von äufserst hoher Brechbarkeit entschieden gröfser ist bei dem Funken am Unterbrecher als bei dem der secundären Entladung.

Macht man mittelst der 2,5zölligen Linse ein Bild von Aluminium-Elektroden und stellt einen Krystall wie den obigen in den Brennpunkt der die röthliche Fluorescenz gebenden Strahlen, so ist es leicht die Transparenz oder Opacität von Substanzen für diese Strahlen zu bestimmen, natürlich wenn dabei auch die Veränderung des Brennpunktes durch eine dicke Platte berücksichtigt und demgemäfs der Krystall verschoben wird. Die das Bild ausmachenden Strahlen hatten, bevor sie den Krystall erreichten, nur durch Luft und durch eine sehr geringe Dicke von Quarz zu gehen. Auf diese Weise fand ich, dafs sogar der Quarz in sehr mäfsiger Dicke opak für diese Strahlen ist; allein verschiedene Exemplare oder verschiedene Stellen eines und desselben Exemplares verhalten sich in dieser Beziehung ungleich. Ich besitze eine grofse Platte, 0,42 Zoll dick, senkrecht gegen die Axe geschnitten, welche im Allgemeinen farblos ist, aber auf der einen Seite schwachbräunlich, bis ungefähr zu dem Abstande eines halben Zolls von der Fläche des sechseitigen Prismas. Der *farblose* Theil dieser Platte, jenseits eines kleinen Abstandes von dem bräunli-

chen Theil, ist für die besagten Strahlen opak [1]), während der *bräunliche* Theil beinahe transparent ist. Es ist daraus zu schliefsen, dafs der farblose Theil eine kleine Menge irgend einer Unreinigkeit enthält, welche diese Strahlen zu absorbiren vermag, und welche, wenigstens in demselben Maafse, nicht in dem bräunlichen Theil vorhanden ist, obwohl dieser, wie seine Farbe zeigt, nicht aus ganz reiner Kieselerde besteht. Im Ganzen bin ich geneigt zu glauben, dafs der Quarz, wäre er *vollkommen* rein, transparent seyn würde. Wir sehen hieraus jedenfalls, wie schwierig es ist, einen sicheren Schlufs hinsichtlich der Transparenz oder Opacität einer Substanz zu ziehen, welche in dem Zustande von Reinheit, in welchem wir sie erhalten können, nur einen geringen Mangel an Transparenz zeigt.

Ich versuchte die Strahlen eines Funkens an einem feinen Münchener Gitter zu reflectiren, allein das Licht war zu schwach, um irgend nutzbar zu seyn. Möglich dafs ein grofser und sehr ebener Spiegel mit einem Hohlspiegel statt der Linse Licht gäbe, welches zu beobachten wäre. Allein für jetzt habe ich keine, auf Strahlen von noch höherer Brechbarkeit beziehbare hinreichend markirte Effecte aufgefunden, die des Versuchens werth gewesen wären.

Derselbe Krystall, welcher die röthliche Fluorescenz zeigte, phosphorescirte ausgezeichnet mit blauer Farbe. Die Phosphorenz war, wie die Fluorescenz, in Schichten parallel den Würfelflächen geordnet, und, ähnlich der röthlichen, aber unähnlich der blauen Fluorescenz, war sie jenseits eines mäfsigen Abstands von der Eintrittsfläche der erregenden Strahlen nicht wahrnehmbar. Als man mittelst der 2,5zölligen Linse ein Bild von der Entladung machte, den Krystall in den Brennpunkt der die röthliche Fluorescenz erzeugenden

1) Ich mufs hier erwähnen, dafs dieser Theil jene zarten, bestimmt gerichteten, verlängerten und kaum anders als im Sonnenlicht sichtbaren Lamellen oder Krystalle enthält, welche von den practischen Optikern »*blue shoots*« genannt werden. Die Untersuchung einer Anzahl geschnittener Quarze, die mir Hr. Darker lieh, bestärkt mich in dem Verdacht, dafs solche Krystalle weniger transparent sind für Strahlen von äufserster Brechbarkeit als andere farblose Exemplare. — Juli 1862.

Strahlen einstellte, ihn daselbst befestigte, und die Kette, nachdem der Inductionsstrom eine Weile gewirkt hatte, öffnete, wurde in dem Krystall am Brennpunkt der Linse ein Blitz (*dart*) von blauem phosphorescirenden Licht gesehen. Bei Einstellung in den Brennpunkt der Strahlen, welche die blaue Fluorescenz am wirksamsten hervorbrachten, verbreitete sich die röthliche über eine breite Portion der dieselbe erzeugenden Schichten; und als der obige Versuch bei dieser Lage des Krystalls wiederholt ward, wurde die blaue Phosphorescenz ähnlich verbreitet gesehen. Diefs beweist, dafs die Strahlen von äufserst hoher Brechbarkeit am wirksamsten sind in Hervorbringung der blauen Phosphorescenz.

[Man kann annehmen, dafs die blaue Fluorescenz, die röthliche Fluorescenz und die blaue Phosphorescenz entspringen aus der Wirkung eines Vereins von heterogenen erregenden Strahlen auf eine und dieselbe Substanz (die zweifelsohne einige Unreinigkeit bei der Krystallisation aufgenommen) oder auf zwei oder drei verschiedene Substanzen. Die blaue Fluorescenz wird innerhalb des Krystalls in einer Tiefe reichlich erzeugt, bei welcher die beiden anderen Effecte unsichtbar sind; aber diefs allein ist kein Beweis von Verschiedenartigkeit in der Natur der Substanz, weil die Strahlen, welche die beiden letzteren Effecte hervorbringen, absorbirt seyn würden, bevor sie jene Tiefe erreichten. Es sind folglich die oberen Schichten, in denen noch Strahlen von allen drei Effecten thätig sind, zu untersuchen, ob sie hinsichtlich dieser Effecte coïncidiren oder nicht, um somit Beweise für die wahrscheinliche Identität oder gewisse Verschiedenartigkeit der Natur der Substanz zu erhalten. Zur Zeit der Lesung dieses Aufsatzes bildete ich mir ein, geringe Abweichungen in der Coïncidenz dieser Schichten beobachtet zu haben. Allein eine erneute Untersuchung an einer grofsen Zahl von Exemplaren läfst mich die vermutheten Abweichungen als sehr zweifelhaft erscheinen.

Die blaue Fluorescenz läfst sich in den oberen Schichten (welche insgemein, wenigstens mit Elektroden von Aluminium und einigen anderen Metallen, ein Roth zeigen)

beobachten, wenn man die brechbareren der erregenden Strahlen durch eine geeignete Quarzplatte absorbirt oder auch statt des Aluminiums ein anderes Metall nimmt, welches arm an Strahlen von äufserster Brechbarkeit ist, z. B. Magnesium. Andrerseits kann die in den oberen Schichten wirklich vorhandene rothe Fluorescenz, wenn sie von der blauen überwältigt wird, sichtbar gemacht werden, wenn man den Krystall durch eine Lösung von chromsaurem Kali betrachtet, welche die blaue Fluorescenz sehr schwächt, während sie genug von dem Spectrum durchläfst, um den nicht absorbirten Rückstand durch seine (grüne) Farbe von der rothen Fluorescenz unterscheiden zu lassen. Auf diese Weise kann die rothe Fluorescenz selbst bei Magnesium-Elektroden leicht wahrgenommen werden. Eine besondere Schicht, die eine blaue Fluorescenz zeigte, wenn Strahlen, die durch eine Würfelfläche eintraten und, bevor sie dieselbe erreichten, einige andere Fluorescenz zeigende Schichten zu durchdringen hatten, auf sie wirkten, liefs eine rothe Fluorescenz sehen, wenn Strahlen auf sie einwirkten, welche direct auf sie einfielen und zwar durch eine Octaëderfläche eingelassen.

Es hält schwer zu entscheiden, ob die Schichten, welche respective die rothe Fluorescenz und die blaue Phosphorescenz zeigen, identisch sind oder nicht, weil die beiden Effecte auf verschiedene Weise erhalten werden; allein so weit ich beurtheilen kann, scheinen die Schichten verschieden (*to correspond*).

Im Ganzen bin ich geneigt es für wahrscheinlich zu halten, dafs es eine und dieselbe Substanz sey, welche vermöge der Wirkung von Strahlen, die mit einem Theil des Violetts beginnen und von dort sich vorwärts erstrecken, eine blaue Fluorescenz zeigt, vermöge der Wirkung von äufserst brechbaren Strahlen eine rothe Fluorescenz, und vermöge der Wirkung von Strahlen ähnlicher Brechbarkeit eine kräftige blaue Phosphorescenz. Wenn die Substanzen verschieden sind, würden sie wenigstens in der Lösung coëxistirt haben und bei der Krystallisation

des Minerals zusammen aufgenommen worden seyn. Ich mufs jedoch erwähnen, dafs es allen meinen Versuchen widerspricht, dafs die Fluorescenz einer einzigen (d. h. nicht gemischten) Substanz beim Vorwärtsgehen im Spectrum somit gleichsam einen frischen Anlauf mit einer *gänzlich verschiedenen* Farbe nehme; allein damals ging meine Erfahrung hauptsächlich aus der Untersuchung von Substanzen in dem verhältnifsmäfsig kurzen Sonnenspectrum hervor. — Juli 1862].

Ich habe gesagt, dafs die Phosphorescenz in gewissen Schichten innerhalb des Krystalls erzeugt werde. Diese Schichten sind an einigen Stellen scharf begränzt, so dafs sie in wohl bestimmten Linien abbrechen. Beim Beobachten der Phosphorescenz war nichts von Leitung zu sehen; die Schichten blieben scharf begränzt, so lange das Licht stark genug war, um darüber urtheilen zu können. Diefs steht im Widerspruch mit einen Paar Resultaten, welche ich früher auf die Autorität von Anderen als einen Unterschied zwischen Phosphorescenz und Fluorescenz angeführt [1]). Als ich kurz darauf die Sache mit Hrn. Faraday untersuchte, konnte ich keines dieser Resultate erlangen. Eins derselben, das auf scheinbare Leitung bezügliche, welches die HH. Biot und A. C. Becquerel erhielten, ist seitdem von Hrn. E. Becquerel für eine Täuschung erklärt [2]). Das andere, dafs durch Strahlen, die durch eine concentrirte Lösung von saurem chromsaurem Kali gegangen sind, eine Phosphorescenz in Canton's Phosphor hervorgerufen werde, vermag ich, nach einer Unterredung mit Dr. Draper, noch nicht zu erklären.

Vortheile breiter Elektroden.

Anfangs wandte ich vorzugsweise Drähte oder spitze Metallstücke als Elektroden an, weil die Entladung leichter zwischen ihnen übergeht und der Funke mehr Licht giebt. Gewisse Betrachtungen führten mich indefs darauf breite

1) *Philosoph. Transact. f.* 1852 *p.* 547 (Ergänzbd. IV, S. 177).

2) *Ann. de chim. et de phys.* (1859) *T. LV*, *p.* 112.

Elektroden zu versuchen, und demgemäfs verschaffte ich mir Elektroden von den gewöhnlichen Metallen in Gestalt kleiner Uhrgläser von etwa 1 Zoll im Durchmesser. Diese ergaben bei einigen Metallen eine sehr entschiedene Ueberlegenheit über dünne Drähte, indem sie die unsichtbaren Metall-Linien in weit gröfserer Stärke zeigten, während bei anderen Metallen kein grofser Unterschied vorhanden war. Beim Kupfer z. B. war die Ueberlegenheit sehr grofs, beim Eisen dagegen verhältnifsmäfsig klein.

Statt Elektroden von dieser Gestalt reicht es hin zwei dicke Stücke Folie zu nehmen, sie mittelst einer Walze oder eines Bleistifts etwas aufzurollen und mit ihren Convexitäten einander gegenüberzustellen, die Axen der Cylinder gekreuzt.

Aufser Kupfer, zeigen Silber, Zinn und Aluminium einen grofsen, und Blei einen mäfsigen Vorzug als flache Elektroden, während beim Zink, wie beim Eisen, scharfe Elektroden eben so gut sind. Messing kommt in dieser Beziehung mit Zink überein, nicht mit Kupfer, obwohl es die Kupfer-Linien sehr stark zeigt.

Bei solchen Elektroden tanzt indefs der Funke umher, und diese Unstätigkeit ist für einige Versuche hinderlich. Ein guter Theil des Vorzugs der flachen Elektroden wird jedoch bewahrt, wenn man blofs eine, besonders die negative flach nimmt; der Funke ist dann stäter. Statt das Ende eines Drahts mit einer flachen Elektrode zu combiniren, ist es, wie mir Dr. Miller gerathen, besser, den Draht in einer durch das Prisma gehenden Vertical-Ebene sanft zu krümmen; auch kann der Rand eines flachen Metallstücks ebenso angewandt werden.

Macht man von dem zwischen einer scharfen und einer flachen Kupfer-Elektrode erscheinenden Funken ein Bild und fängt es mit einem fluorescirenden Schirm auf, so giebt die flache Elektrode, sie mag die positive oder die negative seyn, das hellere der beiden schon erwähnten Bilder.

Als man ebenso ein Bild von dem zwischen zwei breiten Elektroden erscheinenden Funken machte, und in den

Brennpunkt der Strahlen von höchster Brechbarkeit einstellte, bestand das Bild nicht wie gewöhnlich aus zwei gesonderten Flecken; ob dem aber so war, weil diese wegen der Kürze der Funken in einen einzigen Fleck zusammenflossen oder weil die den Metall-Linien von hoher Brechbarkeit angehörigen Strahlen in der ganzen Länge des Funkens entwickelt wurden, weiſs ich nicht ganz sicher; ich neige indeſs zur letzteren Meinung, da eine Trennung der Entladung in zwei Portionen, entsprechend der unmittelbaren Nähe respective der beiden Elektroden, schwerlich der Beobachtung entgangen wäre, wenn sie existirt hätte.

Bögen-Entladung und Linien vom blauen negativen Licht.

Bei Verringerung des Abstandes zwischen den Elektroden, vorausgesetzt, sie bestehen aus Kupferdrähten, nimmt die Helligkeit der Metall-Linien anfangs zu, und verändert sich später wenig, oder nimmt vielleicht etwas ab. Verringert man diesen Abstand noch weiter, so daſs die Elektroden fast einander berühren, und die Entladung mit schwachem Geräusch übergeht, so erscheint eine neue Reihe starker Linien in der unsichtbaren Region von mäſsiger Brechbarkeit. Bei dieser Entladungsweise, bei welcher die negative Elektrode, vor Allem wenn sie dünn ist, schnell rothglühend wird und schmilzt, hat die Leidener Flasche nicht viel Einfluſs, und die erwähnten Linien sind besser zu sehen, wenn man sie fortläſst. Um sie in Vollkommenheit zu zeigen, ist es am besten eine flache Elektrode zu nehmen, so daſs die Hitze fortgeführt wird, sie von einer scharfen positiven Elektrode fast berühren zu lassen, und keinen Theil des blauen negativen Lichts aus dem Prisma zu verdecken. Auf diese Weise wird die sichtbare Entladung fast ganz auf einen unbedeutend aussehenden Stern von blauem Licht reducirt; allein es ist wundervoll zu sehen, welch starken Effect dieser in der unsichtbaren Region hervorzubringen vermag. Der auffallendste Theil des unsichtbaren Spectrums besteht aus vier hellen Linien, welche in Fig. 6 Taf. II mit 1, 2, 3, 4 bezeichnet sind und nicht

weit vom sichtbaren Spectrum liegen. Auf diese folgt, nach einem fast dunklen Raum, Licht in Massen, ähnlich im allgemeinen Ansehen den Gruppen der Kupferlinien (doch verschieden von ihnen), indefs nicht so stark, um aufgelöst oder genau gemessen werden zu können. Die Figur zeigt auch ein Paar blauer Streifen (*b*, *b'*) gesehen in Projection. Diese werden bei directer Betrachtung des blauen Lichtes durch ein Flintglas-Prisma von 60° nicht gesehen, weil man Alles in zu grofsem Detail erblickt. Die meisten Luftlinien in dem unsichtbaren Spectrum, besonders die Streifen jenseits der Linie 4, haben ein schlecht begränztes Ansehen und würden sich wahrscheinlich auflösen lassen, wenn diefs die Intensität des Lichtes gestattete.

Die eben beschriebene Erscheinung ist unabhängig von der Natur der Elektroden und mufs daher der Luft, nicht dem Metall, zugeschrieben werden. Betrachtet man den diese Erscheinung hervorbingenden Lichtstern in einem rotirenden Spiegel, so findet man, dafs er eine beträchtliche Dauer besitzt.

Als man die Elektroden etwas auseinander schob, mittelst der 2,5 zölligen Linse ein Bild von der Entladung machte und dasselbe mit einem Kuchen von Uransalz auffing, war eine sehr starke Fluorescenz sichtbar über dem Bilde der blauen Scheibe, sobald die Linse auf einen Punkt etwas jenseits des sichtbaren Spectrums eingestellt war. Schob man die Linse vorwärts, so breitete sich die Fluorescenz, welche von den diesem Bilde angehörigen Strahlen hervorgebracht ward, zu einem Ringe aus; und schob man sie noch weiter, so entstand ein leidlich gut begränztes Bild von der ganzen Entladung. Von diesem war der Theil, welcher zu der blauen Scheibe gehörte, am hellsten, und concentrisch umgeben von dem zuvor erwähnten Ring, der nun noch mehr erweitert war. Das Bild der übrigen Entladung war dort am hellsten, wo es am meisten an der positiven Elektrode zusammengezogen war. Im Ganzen war die Entladung vielleicht von etwas höherer Brechbarkeit als die blaue Scheibe, selbst wenn man von letzterer

die zum Ringe gehörigen Strahlen ausschlofs. Es scheint sonach, dafs die abgebildeten vier hellen Linien hauptsächlich von dem blauen Licht erzeugt wurden.

Die Uebergangsweise der Entladung läfst sich am besten studiren, wenn man die Elektroden in die gröfste Schlagweite stellt, und sie dann allmählich einander nähert. Zuerst geht dann ein glänzend heller Funke über, der ein scharfes Geräusch macht, und sich nicht im rotirenden Spiegel auflösen läfst. Das unsichtbare Spectrum, welches dieser zeigt, ist zu schwach für genaue Beobachtung; das sichtbare Spectrum zeigt hauptsächlich Luftlinien. So wie man die Elektroden einander nähert, wird der Funke überzogen mit der bekannten gelblichen Hülle, die sich fortblasen läfst, und das blaue Licht beginnt zu erscheinen. Ein rotirender Spiegel zeigt, wie schon Hr. Lissajous beobachtet hat [1]), beim Beginn der Hülle einen instantanen Funken und blaues negatives Licht, welche beide ausgezogen werden, also eine sehr wahrnehmbare Dauer haben. Bringt man die Elektroden noch etwas näher zusammen, so nimmt der Funke ab, und die Hülle bildet sich vollkommen aus, besonders bei breiten Elektroden. Die Luftlinien beginnen nun sich gut zu zeigen, sind aber am hellsten an der Seite des Spectrums, welche dem blauen negativen Lichte entspricht.

Auf dem ersten Blick könnte man meinen, die Permanenz des gelblichen und des blauen Lichts deute nur auf ein Glimmen (*glow*) von merklicher Dauer, hinterlassen von einer nahezu instantanen Entladung; allein mehre Umstände sprechen dafür, dafs die Entladung selbst andauere und dafs *unter* ihrer Wirkung das Glimmen stattfinde [2]). Der Vorgang ist meiner Ueberzeugung nach folgender: Zuerst erst geht ein Funke über, und dieser veranlafst den Ueber-

1) *Du Moncel, Recherches sur la non-homogénéité de l'étincelle d'induction, p.* 107.

2) Wiewohl diese Ansicht schon als aufgestellt betrachtet werden kann (Siehe das schon erwähnte Werk des Vicomte Du Moncel), so werden die hier angeführten Beobachtungen hoffentlich nicht ganz nutzlos seyn.

gang einer continuirlichen Entladung, welche, zum Theil wenigstens von der inducirenden Wirkung des noch sinkenden Magnetismus herrührt, gerade wie ein Volta'scher Bogen bei einer kräftigen Batterie entsteht, wenn man zwischen den wenig getrennten Elektroden einen elektrischen Funken überschlagen läfst; und das Glimmen (*glowing*) der Luft unter der Wirkung dieser Entladung erzeugt die gelbliche Hülle und das blaue Licht. Wenn daher die Elektroden beinahe den gröfsten Abstand von einander haben, bei welchem diese Art Entladung stattfindet, sieht man das blaue Licht in einem rotirenden (*moving*) Spiegel ziemlich scharf begränzt. Wäre es ein absterbendes Glimmen (*dying glow*), so müfste es sanft verlaufen (*fade away*); wenn es aber unter einer Entladung erzeugt wird, mufs es fast plötzlich aufhören, insofern bei diesem Abstand der Elektroden eine continuirliche Entladung nicht überzugehen vermag, sobald die Spannung viel unter die herabgesunken ist, bei welcher sie zuerst erzeugt ward.

Derselbe Schlufs läfst sich aus einer Erscheinung ziehen, die ich einmal erhielt, bei welcher aber die genauen Bedingungen der Erzeugung nicht leicht zu errathen sind. Mit einer Leidener Flasche in Verbindung, erschien jede Entladung, herrührend von einer einzigen Unterbrechung des Contacts, in einem rotirenden (*moving*) Spiegel als ein heller Funke, vereint mit einem weniger hellen Funken durch das blaue negative Licht und auch durch das gelbliche und röthliche Licht, welches dicht an der positiven Elektrode am hellsten war. Wenn das blaue Licht von einem Glimmen (*glow*) herrührte, so müfste es durch den zweiten Funken verstärkt, statt ausgelöscht (*put out*) werden, wogegen die Erklärung des Resultats in der Annahme einer continuirlichen Entladung leicht ist. Der erste Funke rief eine continuirliche Entladung hervor, welche die Flasche weniger schnell leerte als sie von der Inductionsrolle gefüllt ward, so dafs nun eine andere Entladung stattfand, welche die Flasche so leerte, dafs keine continuirliche Entladung mehr übergehen konnte.

Betrachtet man die breite Entladung, welche ohne Flasche bei mäfsigem Abstande der Elektroden von einander erhalten wird, durch eine rotirende Scheibe von schwarzem Papier mit einem einzigen Loch nahe am Umfange, während die Hülle seitwärts geblasen wird, so erhält man eine Folge von momentanen Ansichten von der Entladung, und erblickt die Hülle *übermäfsig gebogen*, wie ein biegsamer Leiter, nicht *durchgerissen*, wie etwa eine Säule, welche durch einen vorangegangenen Funken erhitzt ward. Der centrale Funke fehlt natürlich, da er nahezu instantan ist.

Ich habe gesagt, der Bogen und besonders das blaue Licht zeige Luftlinien. Der Bogen indefs ist einer Färbung ausgesetzt, nicht nur durch einen zufälligen Staub (wie wenn er durch die von Natrium gelbgefärbte Flamme einer Weingeistlampe mit gesalzenem Docht gegangen), sondern auch durch von der positiven Elektrode abgerissene Materie. Diefs sieht man gut bei Aluminium-Elektroden wo der Bogen oder ein Stück desselben grün gefärbt ist. Diefs grüne Licht hat eine sehr merkliche Dauer und eine bestimmte prismatische Zusammensetzung; es ist der positiven Elektrode zuwärts heller als nach der negativen hin, ist aber nicht auf die unmittelbare Nachbarschaft jener Elektrode beschränkt (dehnt sich vielmehr zuweilen über fast die ganze Länge des Bogens aus) in welcher Beziehung und in seiner Dauer es abweicht von dem Licht des eigentlichen Funkens [1]). Mit Aluminium und einem anderen Metall gegenüber, z. B. Kupfer und Eisen, wird das grüne Licht nur gesehen, wenn das Aluminium positiv ist. Selbst beim Aluminium kann man dieses Licht fortschaffen, wenn man die Elektroden einander nähert; und es ist der Bogen in seinem somit als normal zu haltenden Zustand, bei welchem die letzte Linie der Fig. 6 Taf. II beobachtet wurde, obwohl ich bisjetzt in dem unsichtbaren Spectrum keine

1) Der *äufsere* Theil des Flaschen-Funkens zwischen Aluminium-Elektroden hat dieselbe grüne Farbe und prismatische Zusammensetzung, obwohl in diesem Fall das grüne Licht beinahe instantan ist. — Juli 1862.

dem sichtbaren der Bogen-Entladung entsprechende Veränderungen bemerkt habe.

Von der Ursache des Vorzugs breiter Elektroden und von der Erhitzung der negativen Elektrode.

Obwohl der Funke bei Betrachtung in einem rotirenden Spiegel als istantan erscheint, so mufs er doch eine gewisse Zeit einnehmen; so dafs wir in der That einen kurzen elektrischen Strom haben, auf welchen das Ohm'sche Gesetz anwendbar ist. Die elektromotorische Kraft ist hier der Unterschied der Spannungen auf den Belegen der Leidener Flasche. Was den Widerstand betrifft, so kann man den kurzen metallischen Theil der Kette vernachlässigen, und braucht nur den Ort der Entladung zu beachten. Der Widerstand hier kann zerfällt werden in dem von der Luft herrührenden, und in dem, welcher von Theilen der Elektroden dicht an den Entladungspunkten herrührt. Dafs der letztere keineswegs unbedeutend sey, kann geschlossen werden aus der ungeheuren Temperatur, zu welcher kleine Theile der Elektroden erhoben werden, wie angedeutet wird durch die ungemein hohe Brechbarkeit der Strahlen, die von den Metallen unzweifelhaft im Dampfzustand ausgesandt werden. Durch Anwendung flacher Elektroden wird die Schlagweite wesentlich verringert, ohne irgend eine Aenderung in dem Spannungs-Unterschied der Belege der Flasche. Mithin geht die Elektricität, welche sie enthält, mit gröfserer Schnelligkeit über und bewirkt daher einen kräftigeren Effect auf die Metalle.

Die nachtheilige Wirkung der Einschaltung eines kleinen Widerstandes zeigte sich auffallend bei breiten, etwas gekrümmten Kupfer-Elektroden von 3 Zoll im Durchmesser, als man Drähte von einer Belegung der Flasche in einen Becher mit Wasser und von da zur entsprechenden Elektrode führte. Der Funke wurde dadurch ganz unbedeutend im Vergleich zu dem, was er früher war.

Mit einer spitzen und einer flachen Elektrode, nahe zusammengestellt, gingen bei metallischer Verknüpfung helle

Funken über, und das unsichtbare Spectrum zeigte die Kupferlinien, mit einer oder zwei nicht deutlichen Luftlinien; allein, wenn Wasser eingeschaltet war, war der Funke sehr geschwächt, und das unsichtbare Spectrum zeigte die Luftlinien. In beiden Fällen folgte dem Funken eine Bogen-Entladung, wie im rotirenden Spiegel sichtbar war. In letzterem Fall war die Bogen-Entladung verstärkt wegen Abnahme des Funkens, welcher, obwohl nothwendig für die Entstehung dieser, auf ihre Kosten gebildet war; und da für die Bogen-Entladung die Flasche unnütz war, war auch die Vermehrung des Widerstands in einer Kette, die schon die Inductionsrolle einschlofs, unbedeutend.

Die Thatsache, dafs das negative blaue Licht, welches bei Bildung der Bogen-Entladung erscheint, Luftlinien zeigt, deutet auf die Luft als den Sitz der intensiven Wirkung, die daselbst stattfindet; und die Reichlichkeit der ausgesandten Strahlen, so wie die sehr hohe Brechbarkeit einiger derselben, zeigen, wie intensiv diese Wirkung ist. Die Erhitzung der negativen Elektrode scheint ein secundärer Effect zu seyn, nicht herrührend von dem directen Durchgang der Elektricität durch dieselbe (denn der Querschnitt, welchen sie durchläuft, ist keineswegs klein), sondern von der Hitze der sie umhüllenden Luftschicht mitgetheilt. Da die Masse dieser Schicht im Vergleich zu dem benachbarten Theil der Elektrode klein ist, so ist die mitgetheilte Hitze ungeheuer grofs. Wenn so z. B. eine positive Spitze von unten her eine negative Elektrode von Platinfolie, die Wasser enthält, beinahe berührt, so kommt die Folie unter dem Wasser zur Rothgluth, obgleich der blofse Durchgang der Elektricität durch das Metall ganz unfähig wäre, diefs zu bewirken. Entsprechend der Erhitzung der Elektrode durch die Luft, ist die Abkühlung der Luft durch die Elektrode; und eine solche kräftige Entziehung von Wärme kann schwerlich stattfinden, ohne den Zustand der Luftschicht in Bezug auf ihr Vermögen zur Elektricitätsleitung zu ändern. Diefs scheint der Grund zu seyn, weshalb die mit der negativen Elektrode in Contact stehende Luftschicht

sich so verschieden verhält von jedem arbiträren Querschnitt der Säule, längs welcher die Entladung stattfindet, und einen gröfseren Widerstand darbietend, der Sitz einer intensiveren Aussendung von sehr brechbaren Strahlen wird. An der positiven Elektrode, wo, aus irgend welcher Ursache, der Ausgang der Elektricität fast auf einen Punkt beschränkt ist, findet nichts der Art statt; allein wegen der Contraction des Querschnitts, durch welchen die Elektricität in die Elektrode überzugehen hat, ist die Wirkung auf letztere so grofs, dafs Theilchen derselben in dem Lichtbogen zu erscheinen vermögen.

Diese Ansichten führen zu interessanten Speculationen hinsichtlich des negativen Lichts in stark evacuirten Röhren und hinsichtlich der merkwürdigen Umkehrung des Wärme-Effects, welchen Hr. Gassiot beobachtete, je nachdem die Entladung intermittirend oder continuirlich war [1]); allein ich unterlasse weiter zu speculiren.

V. *Neue Bestimmung der Länge der Lichtwellen, nebst einer Methode, auf optischem Wege die fortschreitende Bewegung des Sonnensystems zu bestimmen;*

von A. J. Ångström.

(Aus d. *Oefversigt af K. Vet. Akad. Förh.* 1863 *No.* 2; vom Hrn. Verf. mitgetheilt).

I.

In der Notiz über die Fraunhofer'schen Linien, welche ich die Ehre hatte der K. Akademie im October 1861 zu übergeben [2]), sprach ich von meinem Plan, die Fraunhofer'-

1) *Proceedings of the Roy. Soc. Vol. XI p.* 329 (Annalen Bd. 119, S. 131).

2) Ann. Bd. 117, S. 290.

schen Bestimmungen der Wellenlängen des Lichts einer Revision zu unterwerfen und diese Bestimmungen auf alle merkwürdigeren Linien des Sonnenspectrums auszudehnen, um sodann mit deren Hülfe die Wellenlängen für die Metallspectra zu erhalten.

Die Witterung des letzt verflossenen Sommers war im Allgemeinen für solche Untersuchungen des Sonnenspectrums wenig günstig; auch sind dieselben keineswegs abgeschlossen. Da indefs meine Messungen der Fraunhofer'schen Hauptlinien hinlänglich zahlreich und unter sich übereinstimmend sind, um die von mir erhaltenen Resultate vor einer wesentlichen Veränderung sicher zu stellen, so habe ich es für interessant gehalten zu sehen, ob und wie weit diese neuen Bestimmungen mit den von Fraunhofer selbst bewerkstelligten übereinstimmen würden, um so mehr, als seit der Zeit, da Fraunhofer seine bewundernswerthen Untersuchungen machte, meines Wissens keine neue Messungen über die Wellenlängen des Lichtes angestellt sind.

Bei den Untersuchungen bediente ich mich eines optischen Theodolithen, von Pistor und Martins in Berlin, und eines Glasgitters vom Optikus Nobert in Barth. Der Theodolith war mit zwei Fernröhren versehen, von denen das eine als Sehzeichen diente. Die Ablesung geschah mittelst zweier Mikroskope, wobei ein Scalentheil des Mikrometers 2",1 im Bogen einnahm.

Das Ocular ist auch mit einer Mikrometer-Einrichtung versehen; der Schraubenkopf ist in 100 Theile getheilt und jeder Scalentheil entspricht, bei Einstellung des Fernrohrs auf einen unendlich entfernten Gegenstand, 1",308.

Das von Nobert verfertigte Glasgitter ist von besonders ausgezeichneter Beschaffenheit. Auf einer Breite von 9,0155 Pariser Linien enthält es 4501 mit dem Diamant gezogene Linien. Die Fehler der Theilung liegen nach einer von Nobert bei 800maliger Vergröfserung gemachten mikroskopischen Prüfung unter 0,00002 par. Lin.

Der von Nobert angegebene Werth der Breite des Gitters wurde erhalten durch Vergleich mit einem vom

Mechanicus Baumann in Berlin verfertigten Etalon, der eine Copie von demjenigen Etalon war, welchen derselbe Künstler für Bessel gemacht hatte.

Als Beweis von der Vortrefflichkeit des Glasgitters mag angeführt seyn, daſs man damit die Fraunhofer'schen Linien noch im 3. und 4. Spectrum sehen kann, und daſs diese Linien an Deutlichkeit und Detail-Reichthum diejenigen weit übertreffen, welche man durch Brechung des Lichts in einem Flintglas-Prisma erhält.

Bei den Beobachtungen wurde das Gitter immer winkelrecht gegen die einfallenden Strahlen gestellt. Dieſs geschah dadurch, 1) daſs man der ungeritzten Seite des Gitters immer eine solche Stellung gab, daſs das von derselben reflectirte Bild der Heliostat-Oeffnung zusammenfiel mit dieser Oeffnung, 2) daſs das bei den Beobachtungen bewegliche Fernrohr auf die Heliostat-Oeffnung eingestellt wurde, und 3) daſs man die Axe des Sehzeichen-Fernrohrs, in eine Lage brachte und darin befestigte, die zusammenfiel mit der Verlängerung der optischen Axe des anderen Fernrohrs.

Die geritzte Seite des Glasgitters war immer vom einfallenden Licht ab, gegen das bewegliche Fernrohr gerichtet und mitten über die Rotationsaxe des Instrumentes gestellt.

Die Beobachtungen wurden berechnet nach der bekannten Formel

$$e \sin \Theta = m \lambda$$

worin e oder der Abstand zwischen zwei Gitterstrichen nach dem Vorhergehenden ist

$$e = 0{,}000166954 \text{ Pariser Zoll.}$$

λ bedeutet die gesuchte Wellenlänge, Θ den beobachteten Winkel und m die Ordnungszahl des Spectrums.

Da die erhaltenen Werthe von λ sich auf Luft beziehen, so müssen sie abhängig seyn von deren Temperatur und Barometerhöhe; ich habe deshalb immer diese beiden Elemente aufgezeichnet, obwohl unter den gewöhnlichen Verhältnissen ihr Einfluſs auf die Messungen sich als un-

merklich erwies. Etwas bedeutender ist die Wirkung der Temperaturveränderungen des Gitters selbst; da indeſs die Temperatur des Zimmers während der Beobachtungszeit — September und anfangs October — nur zwischen 13° und 18° C. schwankte, so habe ich auch diese Correction unterlassen.

Daſs durch die unterlassenen Correctionen kein merklicher Fehler in den erhaltenen Mittelwerthen, die als für 15° C. und den mittleren Barometerstand geltend angenommen werden können, entstanden seyn kann, sieht man sehr leicht, wenn man die Gröſse dieser Correctionen berechnet.

Angenommen der Brechungscoëfficient der Luft sey

$$n = 1{,}000294$$

und $\frac{n-1}{d}$ eine constante Gröſse, unabhängig von Temperatur und Druck, so erhält man, wenn überdieſs der Werth von e als gültig für 15° C. angesehen wird, den folgenden berichtigten Werth von $\log\lambda$:

$$\log\lambda = \log\frac{e\sin\Theta}{m} + 0{,}36(t^0_e - 15^0) + 0{,}09\,(t^0_n - 15^0) - 0{,}14(H - 0^m{,}76)$$

woraus die Correction für

$$\log\lambda = +\,0{,}45(t^0 - 15) - 0{,}14(H - 0^m{,}76)$$

ausgedrückt in Einheiten der 5. Decimalstelle.

Hiernach wird eine Temperaturveränderung von 2 Graden eine Veränderung von 2″ im Werthe des Winkels Θ hervorbringen, wenn nämlich $\Theta = 25^0$ angenommen wird; ein Fehler vergleichbar mit dem Einstellungsfehler selbst. Für kleinere Werthe von Θ wird der Fehler natürlich noch kleiner.

Auch der Winkel Θ unterliegt einer Correction, herrührend von der absoluten Bewegung des Instrumentes in Richtung der Bahn des einfallenden Strahls; allein diese Correction ist für die Beobachtungen, welche den Zahlenwerthen in der folgenden Tafel zum Grunde liegen, fast unmerklich.

Die Wellenlängen sind angegeben in 0,00000001 eines Pariser Zolls oder in demselben Maaſse wie die Fraunhofer'schen.

Tafel I. Wellenlängen des Lichts in $\frac{1}{1000000000}$ Pariser Zoll.

B	Spectrum	*C*	Spectrum	*D*	Spectrum	*E*	Spectrum	*b*	Spectrum	*F*	Spectrum	*G*	Spectrum	*H*	Spectrum	H_1	Spectrum
2539,91	1	2426,50	1	2178,69	3	1948,25	1	1916,51	1	1797,38	1	1592,32	2	1467,19	1	1454,88	4
,54	2	,28	2	,53	3	,21	3	,64	3	,37	3	,53	1	,58	4	3,39	3
,76	3	,23	2	,62	2	,24	2	,46	2	,21	3	,22	2	,32	3	3,74	2
		,33	3	,64	1	,20	1	,53	4	,27	2	,16	2	6,66	2	3,89	1
		,25	1	,57	4	,25	3	,56	1	,05	1	,50	2	7,12	1		
		,27	2	,61	4	,24	3	,49	4	,20	3	,32	2	7,34	4		
				,56	2	,23	3	,43	4	,11	2			6,98	3		
				,48	4	,32	4	,47	4	,55	4						
2539,73		2426,29		2178,59		1948,24		1916,50		1797,27		1592,34		1467,18		1453,98	

Der Unterschied in den Wellenlängen für die beiden *D*-Linien ist aus den Messungen im 3. und 4. Spectrum = 2,226 zwischen den beiden *E*-Linien bloſs = 0,395 aus dem 3. Spectrum.

Von Fraunhofer hat man zwei verschiedene Reihen von Werthen der Lichtwellen des Lichts. Die erste Reihe wurde durch Messungen an Drahtgittern erhalten und ist von Cauchy den Berechnungen in seinem *Mémoire sur la dispersion* zum Grunde gelegt. Sie enthält folgende Zahlenwerthe (β)

B	*C*	*D*	*E*	*F*	*G*	*H*
2541	2425	2175	1943	1789	1585	1451.

Vergleicht man diese Werthe mit den entsprechenden der vorbergehenden Tafel, welche ich die Reihe (α) nennen will, so erhält man die Unterschiede ($\alpha - \beta$):

$-1,3 \quad +1,3 \quad +3,6 \quad +5,2 \quad +8,3 \quad +7,4 \quad +16,2.$

Die Unterschiede wachsen, wie man sieht, gegen das violette Ende des Spectrums hin und werden dort recht beträchtlich. Diefs erklärt sich aus der Schwierigkeit, bei Anwendung so grober Gitter, wie Fraunhofer sich deren bediente, die dunklen Linien im violetten Ende des Spectrums mit Genauigkeit zu unterscheiden.

Das vorzüglichste von allen Gittern, die Fraunhofer benutzte, ist ohne Zweifel dasjenige, welches er mit No. 4 bezeichnete und bei welchem er die Linie *E* bis in 13. Spectrum beobachtete. Dieses Gitter giebt im Allgemeinen Werthe, die besser mit den von mir erhaltenen übereinstimmen. Bei den Linien *C*, *D* und *E* ist die Uebereinstimmung beinahe vollständig. Das genannte Gitter gab nämlich:

B	*C*	*D*	*E*	*F*	*G*	*H*
2542	2426	2178	1947	1794	1586	1457.

Ich schliefse hieraus, dafs die Verschiedenheit der beiden Reihen (α) und (β) hauptsächlich auf unvermeidlichen Beobachtungsfehlern bei den von Fraunhofer angewandten Drahtgittern beruhen mufs.

Die andere von Fraunhofer gelieferte Reihe von Werthen der Wellenlängen ist von etwas späterem Datum. Sie findet sich in Gilberts Annal. d. Physik, Bd. 74, ist hernach in Herschel's Optik, Schwerd's Beugungs-Erscheinungen und andere Werke aufgenommen, und scheint

von Fraunhofer selbst, rücksichtlich ihrer Genauigkeit, der älteren vorgezogen worden zu seyn.

Sie enthält folgende Werthe (γ):

B	*C*	*D*	*E*	*F*	*G*	*H*
—	2422	2175	1945	1794	1587	1464

und giebt, verglichen mit der Reihe (α) die Unterschiede ($\alpha - \gamma$):

$$+4{,}3 \quad +3{,}6 \quad +3{,}2 \quad +3{,}3 \quad +5{,}4 \quad +3{,}1.$$

Die in der Reihe (γ) enthaltenen Werthe der Wellenlängen beruhen auf Messungen des ersten Interferenzspectrums eines *Glasgitters*, welches nicht unbedeutend feiner als das von mir angewandte war.

Nach Fraunhofer's Angabe war nämlich:

$$e = 0{,}0001223 \text{ Par. Zoll.}$$

Da indefs die Anzahl der Striche in diesem Fraunhofer'schen Gitter nur 3601 betrug, so reducirt sich die Breite auf

5,2833 par. Lin.

und es mufste folglich nicht unbedeutend lichtschwächer als das Nobert'sche seyn. Auch in anderer Hinsicht scheint mir das Fraunhofer'sche Gitter, obwohl vortrefflich, dem Nobert'schen unterlegen zu seyn. Die Linie *B* konnte nämlich nicht einmal im ersten Spectrum gemessen werden; die Linien *C* bis *G* zeigten sich zwar in dem zweiten Spectrum, aber in keinem der folgenden.

Da indefs die Unterschiede ($\alpha - \gamma$) fast alle dieselbe Gröfse haben, so scheint diefs einen constanten Fehler anzudeuten entweder in meinen Messungen oder in den Fraunhofer'schen. Dafs ein so beschaffener Fehler den Werth von Θ in *meinen Messungen* nicht afficirt haben kann, ist daraus deutlich, dafs der Werth dieses Winkels aus vier verschiedenen Spectren übereinstimmend erhalten wurde. Eben so wenig hat sich ein solcher Fehler in die Fraunhofer'schen Messungen eingeschlichen, wie daraus erhellt, dafs man, wenn man die Wellenlängen der Linien *C* bis *G* berechnet, welche Fraunhofer auch im zweiten Interfe-

renzspectrum beobachtete, aber nicht mit in Rechnung zog, aus beiden Spectren zusammenstimmende Werthe erhält

	C	D	E	F	G
Erstes Spectr.	2422,00	2174,58	1944,81	1793,98	1586,87
Zweites do.	1,54	,36	,63	,92	8,09

Nur für die Linie *G* ist der Unterschied etwas gröfser.

Die Ursache der Unterschiede $(\alpha - \gamma)$ mufs also in einem fehlerhaften Werth von *e* gesucht werden, entweder, dafs die Anzahl der Linien in einem der beiden Gitter unrichtig angegeben, oder auch ihre Breite fehlerhaft ausgemessen wurde. Wollte man die beiden Werthe der Wellenlänge für die Linie *D* in den Reihen (α) und (γ) durch Veränderung des Werthes von *e* in Uebereinstimmung bringen, so müfste man die Breite des Nobert'schen Gitters *verringern* um

0,0123 par. Lin. = 0,001025 par. Zoll

oder auch die Anzahl der Linien in dem Gitter um 6 vermehren.

Derselbe Zweck wird erreicht durch *Verbreiterung* des Fraunhofer'schen Gitters um

0,00061 par. Zoll

oder durch *Verminderung* der Anzahl der Linien um 5.

Dafs die Breite des Nobert'schen Gitters = 9,0155 Lin. schon in der zweiten Decimale fehlerhaft sey, ist nicht wahrscheinlich; wahrscheinlicher ist es, dafs ein ungefähr halb so grofser Fehler bei Abmessung der Breite des Fraunhofer'schen Gitters begangen worden ist, besonders da das Mikroskop vor 40 Jahren noch nicht die Vollendung hatte, die es gegenwärtig besitzt. Auch sah sich Fraunhofer gezwungen, die *Kantenlinien* des Gitters *stärker aufzutragen,* um sie bei der Messung deutlich sehen zu können, ein Umstand, der möglicherweise auch von Einflufs auf die Lage dieser beiden Linien gewesen ist.

Aufser, dafs meine Messungen übereinstimmen mit den von Fraunhofer mittelst des Drahtgitters No. 4 erhaltenen Resultaten, giebt es noch einen Grund zu der Annahme, dafs die Unterschiede $(\alpha - \gamma)$ auf einen fehlerhaften Werth

von e beim Fraunhofer'schen Glasgitter beruhen. Die angeführte Fraunhofer'sche Abhandlung enthält nämlich Messungen an einem anderen Glasgitter, wo e bedeutend gröfser war, nämlich

0,0005919 par. Zoll.

Diese Messungen hat Fraunhofer nicht benutzt, vermuthlich, weil diefs Gitter sich weit weniger vollkommen erwiefs, da die Spectra auf der einen Seite der Axe doppelt so intensiv waren als auf der andern. Berechnet man indefs diese Messungen, so erhält man für die Linien D bis G

D	Spctr.	E	Spctr.
2177,25	(5)	1947,21	(5)
7,48	(4)	7,18	(4)
7,64	(3)	7,23	(3)
6,80	(2)	6,63	(2)
7,55	(1)	7,25	(1)
2177,34		1947,10	

F	Spctr.	G	Spctr.
1796,10	(4)		
6,09	(3)	1590,90	(3)
5,99	(2)	1,07	(2)
6,39	(1)	0,16	(1)
1796,14		1590,71	

Auch diese Werthe deuten auf einen constanten Unterschied mit der Reihe (α), aber die Unterschiede betragen hier blofs

1,25 1,14 1,13 1,63

oder ungefähr ein Drittel der früheren.

Da nun dieses letzte Gitter beinahe 5 Mal gröber war als das frühere, und wahrscheinlich auch breiter, so mufste es leichter seyn, für dasselbe den Werth von e mit Genauigkeit zu bestimmen; das Daseyn eines Fehlers im Werthe von e für das feinere Gitter gewinnt dadurch an Wahrscheinlichkeit.

Die mittelst des Nobert'schen Gitters erhaltenen Werthe

der Wellenlängen scheinen mir daher mit vollem Grund den Vorzug vor den Fraunhofer'schen zu verdienen.

II.

Wie schon zu Anfange dieses Aufsatzes angeführt, habe ich meine Messungen nicht blofs auf die Fraunhofer'schen Hauptlinien beschränkt. Ich habe den Winkel Θ für alle stärkeren Linien von 10′ bis 20′ Abstand von einander mit dem Zirkel gemessen und zwischen diesen die Lage der übrigen Linien mit dem Ocularmikrometer bestimmt. Die Messungen wurden überdiefs im 2., 3. und 4. Spectrum wiederholt, um ihre Genauigkeit zu controliren.

Die folgende Tabelle enthält einige dieser Resultate. Blofs für die stärksten und hervorstechendsten Linien im Sonnenspectrum sind die Wellenlängen angegeben. Die meisten dieser Linien gehören dem Eisen oder dem Calcium an, und haben folglich ein doppeltes Interesse, da sie auch in den Gasspectren der Stoffe vorkommen. Um den Leser ein anschauliches Bild von der Lage und Ausbreitung dieser Linien im Sonnenspectrum zu geben, habe ich eine Zeichnung beigefügt (Taf. II Fig. 8), welche ihre gegenseitige Lage richtig angiebt, wie sie sich mit einem Schwefelkohlenstoffprisma von 60° darstellen. Zwei Minuten im Bogen nehmen in der Zeichnung ein Millimeter ein.

Tafel II. Wellenlängen in $\frac{1}{10000000}$ par. Zoll, entsprechend einigen der stärkeren Fraunhofer'schen Linien im Sonnenspectrum.

A	2842	
B	2539,7	
C	2426,29	
α	2312,2	Starke Linie, der Erdatmosphäre angehörend
	2287,3	Gruppe von starken Linien. Entsprechende Linien in den Metallspectren gehören dem Eisen und dem Calcium an.
	79,6	
	76,8	
	69,4	
	67,7	
	62,1	
	55,1	
D	2179,70	
	7,48	

	1	2076,1	Eisen angehörig
	2	71,3	Zwei Gruppen von Linien, dem Eisen angehörig
	3	69,7	
	4	68,3	
	5	65,4	
	6	60,1	Eisen angehörig
	7	16,9	» »
	8	13,6	» »
		13,1	» »
	9	07,3	» »
	10	05,3	» »
	11	1998,4	» »
		97,9	» »
	12	86,8	» » Linie stark
		85,3	» » schwach
		84,2	» »
		83,5	» »
	13	1974,2	Eisen angehörig; Linie doppelt, wie *E*
	14	69,6	Eisen angehörig
	15	68,1	» »
	16	65,3	» »
	17	53,2	» »
E		1948,44	Eisen und Calcium angehörig.
		48,04	
		46,8	Eisen und Calcium; Linie doppelt, wie *E*
		34,6	Eisen angehörig
		36,4	» »
		19,6	Eisen angehörig; Linie doppelt wie *E*
b		1916,50	Magnesium angehörig
$b_{,}$		12,39	» »
$b_{,,}$		1911,10	Eisen und Magnesium angehörig
		10,49	Eisen angehörig
		03,4	» »
c		1832,70	» »
		19,1	Eisen angehörig. Bei schwachem Glühen zeigte sich im Eisenspectrum bloß die eine dieser Linien; bei starkem Glühen erschien dagegen noch eine dritte
		18,4	
		08,3	Eisen angehörig. Doppelt
		01,1	» » »
F		1797,27	Wasserstoff angehörig
f		1632,2	Eisen angehörig
		28,5	» »
		20,4	» »
		04,3	Wasserstoff angehörig
		1598,8	Eisen angehörig
G		1592,34	» »
		79,1	» »
		74,7	» »
		71,2	» »
g		62,4	Calcium angehörig; Linie doppelt
		32,0	Eisen angehörig; Linie doppelt, überdieß mehre schwache Linien zwischen *g* und *h*

h	15,9	Sehr starke Linie ohne eine entsprechende in den Metallspectren
	05,3	Eisen angehörig; starke Linie
	02,0	» » » »
	1495,2	» » » »
	80,4	Starke Linie, ohne entsprechende bekannt
H	67,2	Calcium angehörig
H_1	54,0	» ».

III.

In einem in der K. Gesellschaft der Wissenschaften zu Upsala vor mehr als zwei Jahren (1860 Oct. 6) gehaltenen Vortrag entwickelte ich eine Methode, die Bewegung des Sonnensystems durch Beobachtung der Interferenzstreifen eines Glasgitters zu bestimmen. Ich zeigte dabei, dafs wenn man annimmt, die ungebeugt durch die Oeffnungen des Gitters gehenden Strahlen pflanzten sich unabhängig von der Bewegung des Instrumentes fort, dasselbe auch von den Interferenzstreifen zu beiden Seiten gelten, und deshalb auch, wenn mittelst des Fernrohrs beobachtet würde, wie gewöhnlich eine Aberration entstehen müfste, proportional dem Verhältnifs zwischen der Bewegung des Fernrohrs winkelrecht gegen dessen Axe und der Geschwindigkeit des Lichts in der Richtung der Axe.

Wenn folglich die Geschwindigkeit des Instruments in Richtung des einfallenden Lichts $= h$ ist, die Geschwindigkeit des Lichts dabei zur Einheit genommen, so müfste für einen Winkel Θ, unter welchem man z. B. die D-Linie in einem Interferenzspectrum beobachtet, die Geschwindigkeit des Fernrohrs winkelrecht gegen diese Richtung seyn:

$$h \sin \Theta$$

was folglich auch der Ausdruck für die Aberration wäre.

Beobachtet man ferner den Winkel Θ bei zwei Stellungen des Instruments, bei welchem die Geschwindigkeit in der Bahn des einfallenden Strahls wäre h und h', so wird:

$$\Delta \Theta = (h - h') \sin \Theta \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

oder da 2Θ der Winkel ist, der unmittelbar aus den Beobachtungen erhalten wird

$$\Delta \, . \, 2\Theta = (h - h') \sin \Theta.$$

Nimmt man $h = -h' =$ der Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn, so wird

$$\Delta \, . \, 2\Theta = 81'',6 \sin \Theta$$

und da überdiefs für die Doppellinie D im vierten Spectrum der Werth von 2Θ ist:

$$= 62^{\circ} \; 55' \; 41'',2,$$

so erhält man

$$\Delta \, . \, 2\Theta = 42'',6$$

eine Gröfse, die mit Leichtigkeit beobachtet werden kann.

Die Fragen, welche die Beobachtungen zu beantworten haben, sind hier zwei. Die eine betrifft die Wirklichkeit des Phänomens und läfst sich am leichtesten beantworten durch Anwendung der Methode auf die bekannte Umlaufsbewegung der Erde; die andere dagegen beabsichtigt, dafs, nachdem die Richtigkeit der Methode erwiesen worden, mit Hülfe ihrer, die Gröfse der fortschreitenden Bewegung des Sonnensystems bestimmt werde.

In keiner Hinsicht können die bisher angestellten Beobachtungen als ganz entscheidend betrachtet werden. In der Mitte des Sommers war das schlechte Wetter meinen Beobachtungen hinderlich und am Ende des Octobers waren sie zu wenig zahlreich, um selbst die erste dieser beiden Fragen zu beantworten.

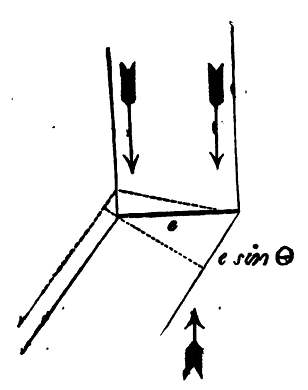
Auch würde ich diese Frage nicht zur Sprache gebracht haben, wenn nicht der berühmte Babinet im Pariser Institut eine Methode zur Bestimmung der fortschreitenden Bewegung des Sonnensystems vorgeschlagen hätte, die vollkommen identisch ist mit der, die ich bereits vor zwei Jahren der K. Gesellschaft der Wissenschaften vorlegte.

Ein kleiner Unterschied findet sich indefs bei der Berechnung. Ich hatte angenommen, dafs die Bewegung des Gitters nicht auf den Winkel Θ einwirke, während Babinet deshalb die Correction

$$h(1 - \cos \Theta) \tang \Theta$$

aufstellt.

In der That läfst sich die von Babinet aufgestellte Formel leicht mit Hülfe der beifolgenden Figur herleiten. Es bezeichnet darin $e \sin \Theta$ die Strecke welche das Licht durchläuft, während das Gitter die Strecke $-he \sin \Theta$ entgegen dem einfallenden Strahle zurücklegt. Der Weg-Unterschied für die beiden interferirenden Strahlen wird also durch die Bewegung des Gitters um



$$he(1 - \cos \Theta) \sin \Theta$$

verringert, und wenn man diese Gröfse gleich setzt: $-e \cos \Theta \, d\Theta$, so erhält man

$$d\Theta = -h(1 - \cos \Theta) \operatorname{tang} \Theta.$$

Bewegt sich das Instrument in demselben Sinn wie das Licht, so wird der Werth von $d\Theta$ natürlicherweise positiv.

Addirt man nun den erhaltenen Ausdruck zu dem in der Formel (1) so wird die ganze Veränderung des Winkels Θ

$$\Delta\Theta = (h - h') \operatorname{tang} \Theta;$$

ist überdiefs $h = -h' \, 20'',4$ und $2\Theta = 62^\circ \, 55' \, 41''$ so wird

$$\Delta 2\Theta = 49'',8.$$

Die Veränderung des Winkels 2Θ vergröfsert sich also durch die Bewegung des Gitters in dem betrachteten speciellen Fall um 7",2.

Die Beobachtungen, auf welche die Zahlenwerthe in Tabelle (1) sich gründen, sind alle — mit einer oder der anderen Ausnahme — am, oder nahe am Mittage gemacht. Ich habe daher geglaubt, bei deren Berechnung die Correctionen vernachlässigen zu können, welche auf der Bewegung des Instruments beruhen, weil diese in den Endmitteln meistens fortfallen müssen.

Zum Beweise der Richtigkeit der hier aufgestellten Theorie gebe ich einige zu Anfange des Octobers im verflossenen Jahre angestellte Beobachtungen. Sie gelten alle

für die Doppellinie D im vierten Interferenzspectrum. Das einfallende Licht hatte immer die Richtung von *Süden* nach *Norden*. Das Sehzeichen und das Gitter wurden alle Tage neu ajustirt.

Tabelle III.

Zeit			$2\Theta_4 = \varphi$	Anmerkung
1862 Oct. 5	11^h	Vormitt.	62° 55′ 38″	Mittel aus 3 Beob.
	$3^h,5$	Nachmitt.	55 53	» » » »
	5^h	Nachmitt.	56 7	» » 6 »
Oct. 9 und 10	$3^h,7$	Nachmitt.	62° 56′ 0″	Mittel aus 6 Beob.
Oct. 11	$9^h,5$	Vormitt.	62° 55′ 51″	Mittel aus 2 Beob.
	1^h	Nachmitt.	55 58	» » »
	$3^h,75$	Nachmitt.	56 7	» » »

Aus dem Mittelwerth der Wellenlängen für die Linie D in Tab. (1) erhält man

$$2\Theta_4 = 62^\circ\, 55'\, 41'',2 = \varphi_0$$

und da dieser Werth sehr nahe frei seyn mufs von dem Fehler, der auf der Bewegung des Instruments beruht, so müssen auch die Beobachtungen in Tab. III diesen Werth wiedergeben, wenn er wegen des Einflusses, den die genannte Bewegung auf die Beobachtungen ausübt, corrigirt wird.

Ist die Geschwindigkeit des Sonnensystems $= X$ und die Richtung dieser Bewegung bestimmt durch die Coordinaten des Aequators

$$D = 34^\circ,5 \text{ und } A = 259^\circ,8,$$

so erhält man die Gröfse der Bewegung des Instruments in Richtung von *Norden nach Süden* zufolge der Bewegung des Sonnensystems

$$= X\cos b = X[\cos D \sin P \cos(A - \ast) - \sin D \cos P]$$

worin P die Polhöhe und $\ast$ die Sternzeit der Beobachtung bezeichnet.

Für Upsala wird also die Formel;

$$X[0,713 \cos(259^\circ,8 - \ast) - 0,284]$$

Die Geschwindigkeit des Instrumentes in oben angeführter Richtung zufolge der *jährlichen Bewegung* wird ferner erhalten

$$= h \cos b_{\prime} = h [\cos D_{\prime} \sin P \sin (\odot - \ast) - \sin D_{\prime} \cos P]$$

worin

$$- \sin D_{\prime} = \sin 23^{\circ}\ 38' \cos \odot.$$

In dieser Formel bezeichnet $\odot$ die Rectascension der Sonne, P und $\ast$ dieselben Gröfsen wie zuvor und h die Geschwindigkeit der Erde $= 20'',4$, ausgedrückt in einem Bogen, dessen Radius gleich ist der Geschwindigkeit des Lichts. Die ganze Berichtigung des Winkels φ wird also:

$$\Delta\varphi = 24'',9 [\cos b_{\prime} + n \cos b]$$

da

$$X = nh \text{ und } 40'',8 \tang \Theta = 24'',9.$$

Berechnet man aus dieser letzten Formel die Correctionen für die Winkel φ in der Tabelle III unter Annahme verschiedener Werthe von n, addirt sodann diese Correctionen zu ihren respectiven Winkeln, und subtrahirt endlich das Resultat $\varphi + \Delta\varphi$ von dem angenommenen wahren Werth von $2\,\Theta_4$ oder

$$62^{\circ}\ 55'\ 41'' = \varphi_0,$$

so erhält man folgende Uebersicht;

Tafel VI.

$\varphi_0 - \varphi$	$\varphi_0 - (\varphi + \Delta\varphi)$			
	$n = 0$	$n = \frac{1}{3}$	$n = \frac{1}{2}$	$n = 1$
+ 3″	+ 3″	+ 4″	+ 4″	+ 7″
− 11″	+ 9″	+ 5″	+ 3″	− 2″
− 26″	− 3″	− 6″	− 7″	− 13″
− 19″	+ 2″	− 1″	− 3″	− 9″
− 10″	− 17″	− 14″	− 12″	− 8″
− 18″	− 7″	− 10″	− 10″	− 12″
− 26″	− 5″	− 10″	− 10″	− 16″

Die Summe der Quadraten der Differenzen ist respective 2267, 462, 419, 427, 719.

Soweit sich aus diesen obigen Beobachtungen schliefsen läfst, scheint der *Einflufs der jährlichen Bewegung der Erde durch sie* bestätigt zu werden. Die Wirkung der Bewegung des Sonnensystems ist weniger hervortretend; indefs zeigt sich doch, dafs wenn man die genannte Bewegung = 0 oder = der Bewegung der Erde in ihrer Bahn annimmt, die Uebereinstimmung zwischen den Beobachtungen schlechter wird als wenn man sie gleich setzt einem Drittel oder etwas mehr von der Bewegung der Erde. Diefs Resultat stimmt nicht übel mit dem, was man auf astronomischem Wege von der Bewegung des Sonnensystems weifs.

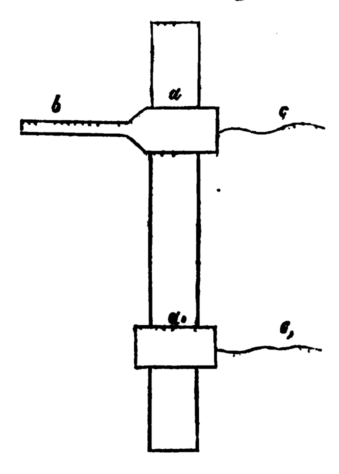
Inzwischen denke ich in diesem Jahre die in Rede stehenden Spectral-Untersuchungen fortzusetzen und hoffe dabei Gelegenheit zu haben, die Gröfse der Bewegung des Sonnensystems numerisch zu bestimmen. Für jetzt habe ich blofs die Absicht, die Möglichkeit zu zeigen, dieses im Bereich der physischen Astronomie liegende interessante Problem auf optischem Wege zu lösen.

VI. *Thermoketten von grofser Wirksamkeit; von R. Bunsen.*

Unter den bisher auf ihre thermo-elektrische Differenz untersuchten Substanzen, welche hinlängliche Leitungsfähigkeit für die Elektricität besitzen, um zu Thermoketten mit Vortheil verwendet werden zu können, nimmt Wismuth in der thermo-elektrischen Spannungsreihe die höchste und eine Legirung von 2 Theilen Antimon mit 1 Theil Zinn die niedrigste Stelle ein. Versuche haben mir gezeigt, dafs Pyrolusit in dieser Reihe noch über dem Wismuth steht und natürlicher Kupferkies noch weit über dem Pyrolusit. Combinirt man Kupferkies mit jener Legirung, oder besser, um höhere Temperaturdifferenzen anwenden zu können, mit Kupfer zu einem thermo-elektrischen Paar, so erhält

man unter sonst gleichen Verhältnissen bei weitem stärkere Ströme als durch irgend eine der bisher gebräuchlichen Thermoketten.

Zur Bestimmung der Constanten einer solchen Kette wurde folgende Anordnung benutzt: Nebenstehende Figur ist eine 40^{mm} breite, 70^{mm} lange und 7^{mm} dicke Kupferkiesplatte in der 35^{mm} von einander die beiden etwas konischen, auf das sorgfältigste eingeschliffenen platinplattirten Kupferzapfen von 9^{mm} mittlerem Durchmesser stecken, deren oberer bei b in einen Kupferfortsatz endet. Erhitzt man diesen Fortsatz mit der Flamme einer nicht leuchtenden Lampe, während der untere Theil der Kupferkiesplatte mit dem darin befinlichen Kupferzapfen in Wasser abgekühlt wird, so erhält man in den zu einem Schliefsungsbogen verbundenen Kupferdrähten cc_1 einen Strom, dessen Intensität nach einiger Zeit vollkommen constant wird, wenn man die den Fortsatz erhitzende Flamme vor Schwankungen schützt. Die Constanten dieser kleinen Kette wurden verglichen mit denen eines Daniell'schen Elementes von gewöhnlicher Einrichtung, dessen in die Flüssigkeit eintauchende dem amalgamirten Zinkcylinder zugekehrte Kupferfläche 1 Quadratdecimeter betrug und dessen Flüssigkeiten aus völlig gesättigter Kupfervitriollösung und einem Gemisch von 6 Gewichtstheilen Wasser mit 1 Gewichtstheil Schwefelsäure bestanden.



Nennt man L den wesentlichen Leitungswiderstand einer Kette, E die elektromotorische Kraft derselben, w den Widerstand des Schliefsungsbogens, und J die Stromstärke, so ist bekanntlich

$$J = \frac{E}{L + w}.$$

Vermehrt man den Leitungswiderstand um r, so wird die dadurch verminderte Stromstärke:

$$i = \frac{E}{L + w + r}.$$

Zur Bestimmung von E und L wurde der Strom durch eine auf erforderliche Weise in der Entfernung d von einem Magnetometer aufgestellte Drahtrolle geleitet und die den Widerständen $(L + w)$ und $(L + w + r)$ entsprechenden Ausschläge J und i gemessen. Bei sämmtlichen Versuchen war $w = 4{,}46$ und $r = 16{,}00$. Bei der Daniell'schen Kette war die Entfernung d der Drahtrolle vom Magnetometer 1^m bei der Kupferkieskette $0^m{,}5$ und bei der Pyrolusitkette $0^m{,}25$. Man hat daher den wesentlichen Leitungswiderstand der zu vergleichenden Ketten:

$$L = \frac{16i}{J - i} - 4{,}46$$

und für die elektromotorische Kraft derselben

$$E = \left(\frac{16i}{J - i} + 16\right) i d^3.$$

Die Daniell'sche Kette gab:

	Frisch gefüllt.	15' gebraucht.	Im Mittel.
J	154,0	141,7	
i	71,0	69,2	
L	9,2	10,8	10,0
E	2108,0	2164,0	2136,0

Bei den folgenden Versuchen mit der beschriebenen Kupferkieskette wurden vier constante Erhitzungen angewandt, welche in aufsteigender Reihe gaben:

	1. Erhitz.	2. Erhitz.	3. Erhitz.	4. Erhitz.
J	98,9	116,0	134,5	150,5
i	41,8	50,7	56,7	63,5
L	7,4	7,9	7,2	7,2
E	145,4	180,2	196,0	218,8
$\frac{E \text{ Thermok.}}{E \text{ Daniell}}$	$\frac{1}{14{,}7}$	$\frac{1}{11{,}9}$	$\frac{1}{10{,}9}$	$\frac{1}{9{,}7}$
$\frac{L \text{ Thermok.}}{L \text{ Daniell}}$	0,74	0,79	0,72	0,72

Während der Versuche stieg die Erwärmung des Kühlwassers etwas über 60° C. und erhielt sich bei dieser Temperatur constant. Obgleich die Erhitzung über die Temperatur des schmelzenden Zinns gesteigert wurde, zeigte der Kupferkies doch weder auf der Schlifffläche der Löcher, noch im Innern eine bemerkbare Veränderung. Da sich derselbe beim Erwärmen weniger als Kupfer ausdehnt, was man aus der Lockerung des Zapfens während des Erkaltens schliefsen konnte, so habe ich aus Besorgnifs den Apparat zu zersprengen, die Erhitzung nicht höher treiben mögen. Wenn man sich indessen vor den Folgen der ungleichen Ausdehnung dadurch schützt, dafs man den Kupferzapfen mittelst eines, längs durch seine Axe gehenden Sägenschnitts federnd macht, so dürfte man leicht durch weiter gesteigerte Temperaturen eine noch gröfsere elektromotorische Kraft erreichen können. Aber schon bei der angewandten Erhitzung zeigt diese kleine Kette eine zehnmal gröfsere Wirkung als ein Wismuth-Antimonelement von gleichem wesentlichen Leitungswiderstand bei einer Erwärmung von 0° C. auf 100° C. Zehn der beschriebenen Paare zu einer Kette verbunden, geben schon alle Wirkungen eines Daniell'schen Bechers von 14 Quadratcentimeter wirksamer Kupferoberfläche.

Natürlicher Kupferkies läfst sich in der starken Glühhitze ohne bemerkbare Zersetzung leicht schmelzen und in beliebige Formen giefsen. Derselbe erleidet aber dabei merkwürdiger Weise eine Veränderung, durch welche er in der thermo-elektrischen Spannungsreihe weit unter das Wismuth herabgedrückt wird. Man kann daher nur das natürlich vorkommende Fossil, welches übrigens leicht zu bearbeiten ist, zu solchen thermo-elektrischen Ketten benutzen.

Pyrolusit mit Platin combinirt giebt ebenfalls eine Kette deren elektromotorische Kraft leicht bis auf $\frac{1}{10}$ eines Daniell'schen Elements gesteigert werden kann, ohne dafs durch die erforderliche Erhitzung eine Zersetzung des Fossils zu befürchten ist. Ein kleiner 6^{mm} im Durch-

messer haltender, 50^{mm} langer Cylinder einer leicht zu bearbeitenden verworrenfasrigen Pyrolusitvarietät wurde oben und unten mit Platindraht fest umwickelt und die obere Umwickelung in einer Hülle von Glimmer direct in der Flamme einer nicht leuchtenden Lampe erhitzt, während die untere in Wasser stand. Der Versuch, bei dem, wie bereits erwähnt, $d = 0^m,25$ war, gab $J = 74,0$ und $i = 68,2$; woraus folgt: $L = 183,6$ und $E = 217,5$. Die elektromotorische Kraft betrug daher ebenfalls nicht weniger als $\frac{1}{9,8}$ von derjenigen eines Daniell'schen Bechers, der Leitungswiderstand aber war 18,4 mal gröſser als bei dem oben beschriebenen Daniell'schen Element.

VII. *Ueber Interferenzerscheinungen im prismatischen und im Beugungsspectrum; von J. Stefan.*

(Aus den Sitzungsber. der kais. Akad. der Wiss. Bd. XLIX; vom Hrn. Verf. übersandt.)

Talbot hat zuerst die Beobachtung gemacht, daſs im prismatischen Spectrum dunkle, den Fraunhofer'schen Linien parallele Streifen auftreten, sobald man von der Seite, an welcher sich die Kante des das Spectrum erzeugenden Prismas befindet, ein Glimmerblättchen vors Auge schiebt, so daſs es die Hälfte der Pupille verdeckt, die andere Hälfte derselben aber frei läſst. Diese Streifen heiſsen Talbot'sche Streifen. Ich habe mehrfach Versuche über diese Streifen gemacht, deren Resultate ich im Folgenden mittheile.

Man braucht, um diese Streifen zu sehen, das Glimmerblättchen nicht gerade unmittelbar vors Auge zu bringen. Man kann es irgendwo zwischen Auge und Prisma halten, auch am Prisma ankleben, jedoch so, daſs es einen an der

brechenden Kante liegenden Theil desselben bedeckt. Blickt man durch den bedeckten oder durch den freien Theil des Prismas, so sieht man keine Streifen. Sieht man aber so durch das Prisma, dafs in das Auge Strahlen, die durch den bedeckten, und Strahlen, die durch den unbedeckten Theil gehen, gelangen, so treten die Interferenzstreifen auf.

Man kann aber das Blättchen auch an die vom Auge abgewendete Fläche des Prismas kleben, man kann es auch weiter entfernt vom Prisma irgendwo zwischen diesem und der Spalte anbringen, wenn nur der Theil des von der Spalte ausgehenden Strahlenbüschels, welcher gegen die brechende Kante des Prismas geht, das Blättchen durchsetzen mufs, so treten die Interferenzstreifen auf.

Man sieht diese Streifen auch noch mit freiem Auge in den Spectren, welche durch ein feines beugendes Gitter erzeugt werden. Schiebt man das Blättchen von der linken Seite vor das Auge, so erscheinen die dunklen Streifen nur in den rechts liegenden Spectren, die links liegenden Spectra enthalten keine solche Streifen. Schiebt man das Blättchen von der rechten Seite vor das Auge, so sind Streifen in den linksseitigen Spectren, keine in den rechtsseitigen. Wie beim Prisma kann man auch hier das Blättchen irgendwo zwischen Auge und Gitter oder zwischen Gitter und Spalte anbringen, um dieselbe Erscheinung zu sehen.

Noch folgende Modification des Versuches ist möglich. Man klebt zwei Blättchen auf das Gitter, eins rechts, eins links, so dafs in der Mitte ein schmaler Streifen frei bleibt der, wenn das Gitter vor das Auge gebracht wird, nur den mittleren Theil der Pupille einnimmt, die seitlichen Segmente derselben aber von je einem der Blättchen bedeckt sind. Man sieht auf diese Weise die Interferenzstreifen in allen Spectren zugleich. Sind die beiden Blättchen gleich dick, so sind die Streifen in den Spectren rechts und links gleich vertheilt. Ist ein Blättchen dicker, so sind die Streifen in den Spectren auf der entgegengesetzten Seite zahlreicher. Schiebt man die beiden Blättchen ganz an ein-

ander, so verschwinden die Streifen in allen Spectren, wenn die Blättchen gleich dick sind. Ist das Blättchen rechts dicker, so bleiben Streifen in den linksseitigen Spectren, und zwar in der Art, wie sie durch ein rechts angebrachtes Blättchen allein hervorgebracht wurden, wenn dieses Blättchen eine Dicke hätte gleich der Differenz der Dicken der beiden angeklebten Blättchen.

Bei diesen Versuchen darf die Dicke des Blättchens nicht bedeutend seyn, weil die Anzahl und damit auch die Feinheit der Streifen bei dickeren Blättchen so grofs wird dafs sie mit freiem Auge nicht mehr unterschieden werden können. Ich verwende zu den Versuchen mit freiem Auge Blättchen bis zu 0,1 Millim. Dicke bei einem Prisma von 45°. Bei einem Prisma von 60° kann ich statt des Glimmerblattes auch Glasplättchen bis 0,15 Millim. Dicke nehmen. Ein solches giebt zwischen den Linien *B* und *H* bei 120 Streifen.

Hingegen sieht man die durch dickere Blättchen erzeugten Linien, wenn man das Spectrum durch ein Fernrohr beobachtet und das Blättchen, wie es Brewster und Airy gethan haben, zwischen das Auge und das Ocular bringt, nur mufs das Blättchen von der violetten Seite des Spectrums eingeschoben werden, also, wenn das Fernrohr ein astronomisches ist, von der der Kante des Prisma entgegengesetzten Seite. Man sieht dann die Streifen in jenem Theile des Spectrums, von welchem Strahlen, die frei, und solche, die durch das Blättchen gehen, in das Auge gelangen. Hier ist es vortheilhafter Glasplättchen zu nehmen, z. B. solche, welche bei mikroskopischen Präparaten als Deckplättchen verwendet werden. Sie sind ebener als Glimmerblätter und geben viel schärfere Linien.

So wie bei der Beobachtung mit freiem Auge das Glimmerblatt nicht unmittelbar vor dem Auge zu seyn braucht, so kann man auch bei der Beobachtung des Spectrums durchs Fernrohr das Glasplättchen irgendwo zwischen Auge und Spalte anbringen. Ich mache die Versuche an einem Spectralapparate. Die Spalte befindet sich im Brennpunkte

einer Collimatorlinse, das Beobachtungsfernrohr ist daher auf unendliche Distanz eingestellt.

Klebt man das Glasplättchen vorne an das Objectiv, und zwar an die Seite, welche gegen die brechende Kante des Prismas liegt, so treten die Interferenzlinien im ganzen Spectrum zugleich auf.

Es braucht nicht gerade die Hälfte des Objectivs von dem Plättchen bedeckt zu seyn, auch braucht die über dem Objectiv liegende Kante des Plättchens nicht parallel zu seyn der brechenden Kante des Prismas, wenn nur das Plättchen vom Planparallelismus nicht zu sehr abweicht, in welchem Falle das ganze Spectrum verwischt wird, so treten die Linien auf. Der Planparallelismus des Plättchens ist ein wesentliches Erfordernifs für das Zustandekommen der Erscheinung bei dickeren Plättchen. Ich habe eine planparallele Glasplatte von etwas über 3 Millim. Dicke. Diese liefert sehr schöne Streifen, die in dem durch ein sechziggradiges Steinheilsches Flintglasprisma erzeugten Spectrum sehr deutlich und scharf gesehen werden können, obwohl sie ungemein fein sind. Die Anzahl dieser Linien zwischen den Linien *B* und *H* beträgt gegen 2500. Die bei *B* befindlichen Linien entstehen durch Interferenz von Strahlen, deren Gangunterschied über 2700 Wellenlängen von *B*, die bei *H* liegenden entstehen durch Interferenz von Strahlen, die einen Gangunterschied von mehr als 5000 Wellenlängen von *H* besitzen. Es ist kein Zweifel, dafs auch dickere planparallele Platten noch Streifen erzeugen, die man in einem durch mehrere Prisma erzeugten Spectrum wahrnehmen kann.

Da die Anzahl der Interferenzlinien um so gröfser wird, je dicker das Plättchen ist, oder je länger der Weg ist, den die Strahlen im Plättchen zurücklegen müssen, so ändert sich die Stellung der Linien, sobald man dem Plättchen eine andere Neigung gegen die Axe des Objectivs giebt. Bei Vergröfserung der Neigung laufen die Linien vom violetten gegen das rothe Ende, bei Verringerung der Neigung umgekehrt. Steht das Plättchen senkrecht auf der

Richtung der durchgehenden Strahlen, so hat jede der Linien das Maximum ihrer Deviation. Man hat darin ein Mittel, das Plättchen in diese senkrechte Stellung zu bringen.

Anstatt das Plättchen unmittelbar vor das Objectiv zu geben, kann man es auch irgendwo zwischen Objectiv und Prisma, oder zwischen diesem und dem Collimator anbringen. Man hat es auf diese Weise in der Hand, mit dem Plättchen Aenderungen vorzunehmen, z. B. es zu erwärmen oder zu pressen und aus der Veränderung der Linien im Spectrum auf die Veränderungen der optischen Eigenschaften des Plättchens zu schliefsen.

Ganz so verhält es sich mit den Interferenzlinien in den Beugungsspectren. Ersetzt man das Prisma durch ein Gitter und giebt vor das Objectiv ein Glasplättchen, so dafs es die rechte Seite desselben bedeckt, so treten die Linien in den rechtsseitigen Spectren auf. Bringt man vor das Objectiv zwei Plättchen eins rechts, eins links, jedoch so, dafs der mittlere Theil des Objectivs frei bleibt, so sind dann die Interferenzlinien in allen Spectren vorhanden. Man kann auch jedes dieser Plättchen anderswohin bringen, wenn nur ein Theil des vom Collimator kommenden Strahlenbündels durch das eine, der gegenüber liegende Theil durch das andere Plättchen, der mittlere Theil frei geht.

Noch eine auffallende Modification dieser Versuche mufs ich erwähnen. Man kann nämlich das Glasplättchen auch vor die Spalte bringen, so dafs ein Theil des auf die Spalte fallenden Lichtes durch das Plättchen gehen mufs, und sieht dann die Interferenzlinien ebenfalls. Hier ist es aber gleichgültig, ob man das Plättchen von derjenigen Seite halb vor die Spalte schiebt, auf welcher sich die brechende Kante des Prismas befindet, oder von der entgegengesetzten. Der Unterschied zwischen den zwei Seiten tritt erst in dem von der Spalte ausgehenden Strahlenbüschel auf. Um die sehr feine Spalte zur Hälfte mit dem Glasplättchen verdecken zu können, mufs man dessen Kante parallel mit der Spalte stellen, z. B. auf einem Tischchen,

das dann eine sanfte Bewegung in einer zu dieser Kante senkrechten Richtung gestattet.

Airy behauptet, Talbot'sche Linien auch dann gesehen zu haben, wenn er das Glimmerblättchen vor das Ocular nicht von der violetten, sondern von der rothen Seite einschob. Brewster konnte auf diese Weise keine Linien sehen; auch mir ist es nicht gelungen Linien zu sehen, wenn das Blättchen auf diese Art vor dem Ocular eingeschoben wurde, auch nicht, wenn das Blättchen zwischen Objectiv und Prisma oder zwischen Prisma und Spalte von der der brechenden Kante des Prisma entgegengesetzten Seite eingeschoben wurde. Wenigstens konnte ich nicht die Linien sehen, welche durch Interferenz der Strahlen, die durch das Blättchen und die frei gehen, gebildet werden, hingegen sieht man Interferenzlinien auch dann, wenn man das Ocular oder das Objectiv, oder den Collimator mit einem Glimmerblatte oder einem Glasplättchen ganz bedeckt, auch wenn man das Licht, bevor es auf die Spalte fällt, durch ein solches Plättchen gehen läfst. Diese Linien sind aber anderen Ursprungs; sie entstehen durch Interferenz der Strahlen, die direct durch das Plättchen gehen und der Strahlen, die nach ein- oder mehrmaligem Hin- und Hergange im Plättchen aus diesem austreten. Ueber diese so wie über die Linien, welche durch die Interferenz von Strahlen, die an der Vorder- und Hinterfläche eines Heliostaten reflectirt werden, entstehen, so wie über den Einfluſs dieser Linien auf die Sichtbarkeit der Fraunhofer'schen werde ich in einer nächsten Mittheilung berichten.

VIII. *Untersuchungen über die Ausdehnung und Doppelbrechung des erhitzten Bergkrystalls; von Hrn. Fizeau.*

(*Compt. rend. T. LVIII, p.* 923.)

In einer früheren Arbeit, die der Academie am 23. Juni 1862 vorgelegt und in die *Ann. de chim. et de phys. T. LXVI* eingerückt worden ist [1]), habe ich gesucht, die Veränderungen zu bestimmen, welche die lichtbrechenden Eigenschaften des Glases und mehrer anderer Körper bei Aenderungen der Temperatur erleiden. Ich untersuchte mehre Arten von Glas, Flufsspath und Kalkspath in dieser ersten Arbeit, von der ich hier nur die Hauptresultate wiederholen will.

Der Brechungsindex des Glases variirt wenig mit steigender Temperatur, allein bei gewissen Gläsern erleidet er doch eine merkliche Vergröfserung. Bei dem gewöhnlichen Krystallglase nimmt er sehr merkbar zu und diese Zunahme ist noch gröfser bei dem schweren Krystallglase, das reicher an Bleioxyd ist als das gewöhnliche. Ein durch Schönheit und Klarheit seiner zum kubischen System gehörenden Krystalle merkwürdiges Mineral, der Flufsspath, zeigt ein umgekehrtes Verhalten, d. h. eine relativ beträchtliche Schwächung seiner lichtbrechenden Eigenschaft bei Erhöhung der Temperatur. Und bei den rhomboëdrischen Krystallen des Kalkspaths, die durch die Stärke ihrer Doppelbrechung und durch die Sonderbarkeit ihrer Ausdehnungsweise so berühmt sind, fand sich, dafs die Temperatur-Erhöhung eine rasche Vergröfserung des Brechungsindexes beim aufserordentlichen Strahl, begleitet mit einer fast unmerklichen des ordentlichen Strahls, hervorruft.

Die wichtigen Folgerungen, welche man hoffen kann aus diesen Erscheinungen, für die Kenntnifs der Structur der Körper und die Theorie des Lichtes zu ziehen, machten es wünschenswerth, dieses Studium auf noch andere

1) Auch diese Ann. Bd. CXIX, S. 87 und 297.

Substanzen auszudehnen. Unter denen, die am meisten Interesse darboten, mufs vor Allem die krystallisirte Kieselerde, der Bergkrystall, genannt werden, eine der merkwürdigsten Substanzen in der Natur, sowohl wegen der aufserordentlichen Klarheit, der Gröfse, Regelmäfsigkeit und Schönheit ihrer Krystalle, als auch wegen der Reinheit ihres chemischen Zusammensatzes und der Unveränderlichkeit ihrer vornehmsten physischen Eigenschaften, was Alles auf genaue Beobachtungen und Messungen Hoffnung giebt.

Ich habe daher gesucht, den Bergkrystall nach der in der früheren Arbeit beschriebenen Methode zu studiren, um die Art und Gröfse der Veränderungen zu bestimmen, welche das Licht beim Durchgang durch denselben im Zustande verschiedener Erhitzung erleidet. Bevor ich die erlangten Resultate beibringe, wird es nicht unnütz seyn, die Methode nochmals kurz auseinander zu setzen.

Die zu studirende Substanz wird so geschnitten, dafs sie zwei nahezu ebene und unter sich parallele Flächen darbietet, die 1 bis etwa 10 Millimeter Abstand haben können. Ein lothrecht auf die Platte fallendes Bündel von einfachem Licht giebt Anlafs zu zwei reflectirten Strahlen, die miteinander interferiren und Fransen oder Ringe erzeugen von gleicher Natur mit den von Newton beschriebenen Ringen dünner Plättchen; nur sind hier, wegen des die beiden Flächen trennenden Abstandes, die Ringe von sehr hoher Ordnung; je nach der Dicke der Platte können sie von der 20000ten, 30000ten und selbst 50000ten Ordnung seyn.

Wenn man nun, nachdem diese Fransen erzeugt und ihrer Lage nach gegen feste Visirpunkte auf der vorderen Fläche wohl bestimmt worden sind, die Platte erwärmt oder erkältet, so verschieben sie sich sogleich, und man kann sehr genau die Anzahl derselben und ihre Bruchtheile zählen, welche unter dem Einflufs einer Temperaturveränderung verschoben wurden. Aus der Anzahl der verschobenen Fransen und aus der Anzahl von Graden, um welche sich die Temperatur verändert hat, ergiebt sich leicht die Veränderung, welche der Brechungsindex erlitt, jedoch un-

ter der Bedingung, dafs man die Wellenlänge des angewandten Lichts, den Brechungsindex der Substanz und den Ausdehnungscoëfficienten derselben kenne.

Von diesen verschiedenen Gröfsen ist der Ausdehnungscoëfficient derjenige, dessen Kenntnifs im Allgemeinen am unsichersten ist. Was insbesondere den Bergkrystall betrifft, so ist seine Ausdehnungsweise beinahe unbekannt. Man hat einige Beobachtungen, welche darthun, dafs seine Ausdehnung gröfser in winkelrechten Richtungen gegen die Axe ist als parallel derselben; allein alle diese Resultate sind unsicher und ganz ungenügend, daraus die Veränderungen des Brechungsindexes zu berechnen.

Es schien daher nöthig, dieses Studium mit speciellen Beobachtungen zu beginnen, die geeignet wären, die Ausdehnungsweise des Bergkrystalls unter dem Einflufs der Wärme mit Genauigkeit kennen zu lehren. Nachdem diese Bestimmung gemacht, schritt man wie bei den früheren Untersuchungen, zur Messung der Verschiebungen, welche die durch Reflection an Platten mit parallelen Flächen erzeugten Fransen bei verschiedener Erhitzung erlitten, und so konnte man endlich berechnen, welche Aenderung der Brechungsindex sowohl beim ordentlichen, als beim aufserordentlichen Strahl unter dem Einflufs der Wärme erleidet und wie grofs die Geschwindigkeitsänderung dieser beiden Strahlen ist.

Verfahren zur Bestimmung der Ausdehnungsweise des Bergkrystalls.

Zur Messung der Ausdehnung des Bergkrystalls benutzte ich ein besonderes Verfahren, ein anderes als man gewöhnlich zur Messung der Ausdehnung starrer Körper anwendet. Die Methode beruht auf einem System von optischen Beobachtungen, ganz analog denen, von welchen vorhin die Rede war. Sie scheint besonders den Vortheil der leichten Anwendbarkeit auf Körper von kleinen Dimensionen zu besitzen, wie sie insgemein zu diesen Untersuchungen gebraucht werden. Folgendes sind ihre Principien.

Bekanntlich entspringen bei den Newton'schen Ringen

die Abwechslungen von Hell und Dunkel, welche bei einfachem Licht das Phänomen ausmachen, aus sehr kleinen Unterschieden in den Abständen, welche die beiden reflectirenden Flächen in ihren verschiedenen Punkten trennen. Um z. B. von einem dunklen Ringe zum nächsten hellen überzugehen, braucht der Abstand, der die beiden Glasflächen trennt, nur um die Länge einer Viertel-Lichtwelle zu variiren. Für das gelbe Licht des Natrons, dessen Wellenlänge $0^{mm},0005888$ ist, geht die Veränderung des Abstandes nicht über $\frac{1^{mm}}{6793,5}$. Man kann aber insgemein leicht den fünften Theil des Abstandes zwischen einem hellen und einem dunklen Ringe messen, oder, anders gesagt, den zehnten Theil zwischen zwei dunklen Ringen, was einer noch fünf Mal kleineren Veränderung des Abstandes zwischen beiden Flächen oder nur $\frac{1^{mm}}{33967}$ entspricht.

Hieraus folgt, dafs, wenn man durch irgend ein Mittel den Abstand der Flächen allmählich ändert, die Ringe sich auf der Glasfläche verschieben, so dafs man durch irgend einen auf dieser Fläche bezeichneten Punkt einen ganzen oder einen halben oder einen Zehntel-Ring gehen sieht, je nachdem der Abstand beider Flächen um $\frac{1^{mm}}{3397}$ oder $\frac{1^{mm}}{6793}$ oder nur $\frac{1^{mm}}{33967}$ verändert worden ist. Es ist also gewifs dafs die Beobachtung dieser Ringe oder Interferenzfransen ein Mittel liefert, die Veränderungen von Längen zu bestimmen, welche wegen ihrer Kleinheit für die gewöhnlichen Messungsmethoden unmerklich wären. Die Anwendung dieses Princips auf das Studium der Ausdehnungen bietet sich von selbst dar, besonders wenn es sich um Körper von so kleinen Dimensionen handelt, dafs ihre Verlängerungen mittelst der gewöhnlichen Methoden nicht mehr zu messen sind. Eine Bergkrystallplatte z. B. von 5 Mllm. Dicke, geschnitten parallel der Krystallaxe, wird, von 10° bis 50° erwärmt, in lothrechter Richtung gegen ihre Flächen eine Verlängerung von nur $\frac{1^{mm}}{870}$ erleiden, und diese Gröfse

würde sich durch eine Verschiebung von 9f,18, d. h. von mehr als neun ganzen Fransen kund geben.

Man sieht also, dafs ein Lichtstrahl mit seinen äufserst zarten und vollkommen regelmäfsigen Undulationen gewissermafsen als ein natürliches Mikrometer von gröfster Vollkommenheit betrachtet werden kann, das besonders geeignet ist, äufserst kleine, jedem anderen Messungsmittel entgehende Längen zu bestimmen.

Um das eben erwähnte Princip auf die Messung der Ausdehnung starrer Körper anzuwenden, traf ich folgende Anordnung, die mir den beabsichtigten Zweck am besten zu erfüllen schien. Ich liefs eine Art Dreifufs verfertigen, bestehend aus einer etwa 0,5 Centim. dicken und 4 Centim. im Durchmesser haltenden Stahlscheibe, getragen von drei gleich langen stählernen Schrauben, die einen sehr feinen Gang hatten (0mm,25) und mit ihren Stielen die Scheibe in drei gleich abständigen Punkten nahe am Umfang durchsetzten. Die oberen, in stumpfe Spitzen auslaufenden Enden dieser Schrauben, ragten eine gewisse, beliebig abzuändernde Anzahl von Millimetern über die Scheibe hervor; auf diese drei Spitzen legte man eine Glasscheibe, deren untere Fläche leicht der obern und wohl polirten Fläche der darunter liegenden Stahlscheibe parallel gemacht werden konnte. Die unterhalb der Scheibe, nahe am unteren Ende der Schrauben angebrachten Köpfe derselben besafsen eine Theilung, mittelst welcher sie um bekannte Gröfsen gedreht werden konnten. Die gesammte Höhe dieses kleinen Apparats stieg nicht über 5 Centim.; er konnte leicht in die Mitte des in der früheren Abhandlung beschriebenen kupfernen Ofens gebracht und darin bis auf stationäre und wohl bekannte Temperaturen erwärmt werden.

Will man die Ausdehnung eines Körpers messen, so mufs man denselben in Stücke von 5 bis 10 Millim. Dicke mit zwei nahezu ebenen und parallelen Flächen zerschneiden, ihn auf die Stahlscheibe legen und durch Drehung der Schrauben die Ebene des Glases fast mit der oberen Fläche des Stückes in Contact bringen, jedoch noch ge-

trennt von ihr durch einen sehr kleinen Zwischenraum ($0^{mm},02$ etwa), um ganz sicher zu seyn, dafs der Körper sich frei ausdehne, ohne die Glasscheibe zu berühren.

Läfst man, nach dieser Vorkehrung, ein Bündel der gelben Strahlen einer Kochsalzlampe lothrecht auf die Glasscheibe fallen, so beobachtet man durch Reflexion schöne Ringe oder Fransen, entstehend aus der Interferenz des an der Unterseite der Glasscheibe reflectirten Lichts mit dem an der Oberseite des Körpers reflectirten. Da diese Flächen zufällig fast immer etwas convex sind, so hat man im Allgemeinen kreisrunde Fransen oder Ringe, mehr oder weniger regelmäfsig. Die Glasscheibe trägt eine gewisse Anzahl kleiner schwarzer Punkte, welche als Merkzeichen dienen, um darnach die Gröfse der Verschiebung der Fransen zu bestimmen.

Ich setze also voraus, der kleine Apparat sey in den Ofen gebracht und mit gelbem Licht beleuchtet. Nachdem die Temperatur stationär geworden, bestimmt der Beobachter die Lage der Fransen in Bezug auf mehre Merkpunkte, 10 z. B., und schätzt dabei die Zehntel der Fransen für jeden dieser Punkte. Erhitzt man nun den Ofen nach und nach, so verschieben sich die Fransen in Bezug auf die Merkpunkte, entfernen sich z. B. vom Mittelpunkt der Ringe, was eine Verringerung im Gangunterschied der interferirenden Strahlen oder eine gegenseitige Näherung der beiden Flächen voraussetzt. Alsdann zählt der Beobachter die Anzahl der somit verschobenen ganzen Fransen, und wenn die von den Thermometern angegebene Temperatur wieder vollkommen stationär geworden, bestimmt er aufs Neue die Lage der Fransen in Bezug auf die Merkpunkte. Diese, zu 10 an der Zahl vorausgesetzt, liefern 10 Bestimmungen des Werthes der Fransenverschiebung, entsprechend der Anzahl von Graden zwischen den beiden Gränztemperaturen.

Diefs ist das System von Beobachtungen, aus welchen man den Ausdehnungscoëfficient der Substanz abzuleiten hat. Dehnte der Stahl sich nicht durch die Wärme aus,

so würde, wie man sieht, der beobachtete Effect ganz von der Ausdehnung der Substanz herrühren, welche, indem sie an Dicke zunahm, den kleinen Zwischenraum, in welchem die Fransen sich bilden, um eben so viel verringerte. Allein dem ist nicht so: der Stahl dehnt sich aus, demzufolge werden die das Glas tragenden Schrauben länger und somit vergröfsert sich, durch einen umgekehrten Effect, der Zwischenraum, in welchem die Fransen entstehen.

Das beobachtete Phänomen ist also in Wahrheit hervorgegangen aus dem Unterschied zweier Ausdehnungen, der der Substanz und der des Stahls.

Man sieht also, dafs die Ausdehnung des Stahls eine wichtige Rolle bei diesen Bestimmungen spielt und dafs der numerische Werth derselben mit aller möglichen Genauigkeit bekannt seyn mufs.

Ausdehnung des Stahls, aus welchem der Apparat besteht.

Leicht ersichtlich ist, dafs der zuvor beschriebene kleine Dreifufs mit seiner polirten Scheibe und seinen drei, ein Planglas tragenden Schrauben, sehr geeignet ist, zwischen dem Planglase und der oberen Fläche der Stahlscheibe ein System von Interferenz-Fransen oder -Ringen hervorzubringen. Der Versuch zeigte, dafs der Abstand zwischen diesen beiden reflectirenden Flächen auf $8^{mm},1144$ gebracht werden konnte, um noch schöne recht deutliche gelbe Fransen zu geben, deren Verschiebung unter dem Einflufs der Wärme sich leicht beobachten liefs.

Wenn man unter diesen Umständen den Apparat erhitzt, so dehnen die drei Stahlschrauben sich aus, heben die Glasplatte und entfernen sie von der Stahlscheibe, vergröfsern also den Gang-Unterschied der interferirenden Strahlen.

Die Abandlung (von der Gegenwärtiges ein Auszug ist) enthält eine Tafel über die Gesammtheit der Beobachtungen, die nach diesem Verfahren mit einem kleinen aus englischem Stahl (Huntsman) von den HH. Brunner äufserst sorgfältig verfertigten Dreifufs angestellt worden

sind. Dasselbe Instrument diente auch zur Messung der Ausdehnung des Bergkrystalls.

Nachdem die Ausdehnung des Stahls, aus dem das Instrument bestand, studirt, und die Werthe seines Ausdehnungcoëfficienten für verschiedene Temperatur-Intervalle bestimmt worden, konnte man mit Sicherheit zur Bestimmung der Ausdehnungsweise verschiedener Substanzen schreiten, besonders krystallisirter Körper, deren Studium in dieser Beziehung ein specielles Interesse darbieten.

Ich will einiger Beispiele erwähnen. Das Steinsalz, dessen Ausdehnung nach allen Seiten gleich ist, dehnt sich drei Mal stärker aus als der Stahl. Der Alaun dehnt sich etwas weniger aus als Stahl. Die Blende hat eine Ausdehnung, die kaum die Hälfte von der des Stahls und ein Viertel von der des Flufsspaths ist. Der Dolomit dehnt sich nach der Axe zwei Mal stärker, und winkelrecht darauf drittehalb Mal schwächer als der Stahl aus; er dehnt sich also in letzterer Richtung noch aus, während bekanntlich der Kalkspath in dieser Richtung eine Zusammenziehung erleidet. Ich kann indefs für jetzt nur diese ersten Resultate anführen, die mir gewisse merkwürdige Beziehungen zwischen den Ausdehnungen mehrer krystallisirter Körper zu entschleiern scheinen. Um mich nicht zu sehr von dem Hauptgegenstand dieser Arbeit zu entfernen, werde ich nur die Bestimmungen über den Bergkrystall beibringen.

Versuche über die Ausdehnung des Bergkrystalls.

Durch die Beobachtungen von Fresnel und besonders die von Mitscherlich weifs man, dafs mehre krystallisirte Körper sich in verschiedenen Richtungen ungleich ausdehnen. Nur die zum kubischen System gehörenden Krystalle dehnen sich in allen Richtungen gleichförmig aus, wie die amorphen und homogenen starren Körper; allein die übrigen krystallisirten Körper, die in dieser Beziehung studirt wurden, zeigen ungleiche Ausdehnungen, wobei indefs die Krystallflächen immer eben bleiben.

Die Ausdehnungen der zum rhomboëdrischen System

gehörigen Krystalle, wie der Kalkspath, zeigt zwei besondere Werthe, aus denen alle übrigen hergeleitet werden können, den einen für die Richtung in der Hauptaxe, und den anderen für alle Richtungen winkelrecht auf dieser Axe.

Es waren demnach für den Bergkrystall, der zu demselben Krystallsystem gehört, zwei verschiedene Ausdehnungscoëfficienten zu bestimmen, den ersten für die Richtung der Hauptaxe, welche mit der optischen Axe zusammenfällt, und den zweiten für eine auf dieser Axe winkelrechte Richtung.

Die erstere Ausdehnung, die nach der Axe, ergiebt sich aus der Aenderung in der Dicke einer Platte, deren Flächen winkelrecht gegen die Axe geschnitten sind. Die zweite Ausdehnung, die winkelrecht zur Axe, erhält man mittelst einer Platte, deren Flächen parallel der Axe sind. Zwei Tafeln enthalten die Resultate der Versuche, die zur Bestimmung dieser beiden Ausdehnungscoëfficienten des Bergkrystalls angestellt worden sind.

Aus diesen Werthen leitete man, durch dieselbe Berechnungsweise wie beim Stahl, die beiden Schlufs-Tafeln her, welche alle Bestimmungen zusammenfassend, die successiv wachsenden Werthe der beiden Ausdehnungscoëfficienten, parallel und winkelrecht zur Axe, für verschiedene Punkte der Thermometerscale gaben. Diese Werthe sind unabhängig von der Richtung des Drehungsvermögens. Man kann daraus ersehen, dafs der Bergkrystall sich winkelrecht zur Axe fast zwei Mal stärker ausdehnt als parallel derselben; das Verhältnifs zwischen den beiden Ausdehnungen nähert sich desto mehr $\frac{1}{2}$, je mehr der mittlere Grad sinkt. Allein wenn auch die gegenwärtigen Versuche vermuthen lassen, dafs dem bei einer gewissen Temperatur so seyn mufs, so sind sie doch von zu engen Gränzen umschlossen, um mit einiger Wahrscheinlichkeit den diesem Verhältnifs entsprechenden Thermometergrad angeben zu können. Andere, zu demselben Krystallsystem gehörende Substanzen, z. B. Kalkspath und Dolomit, zeigen Phänomene, die von denen

des Bergkrystalls abweichen, jedoch auch gewissen merkwürdigen Relationen unterworfen zu seyn scheinen. In dem Dolomit findet sich die gröfste Ausdehnung parallel der Axe und sie ist beinahe fünf Mal gröfser als die winkelrecht zur Axe. In dem Kalkspath, der sich parallel der Axe auch stark ausdehnt und winkelrecht zur Axe zusammenzieht, ist das Verhältnifs der Ausdehnung zur Zusammenziehung ebenfalls fünf, und überdiefs verhalten sich die Zahlen, welche diese Effecte messen, betrachtet in der einen und der anderen dieser Substanzen, zu einander wie 3:4.

Nachdem solchergestalt die Ausdehnungsweise des Bergkrystalls bestimmt worden war, suchte man den beabsichtigten Zweck vollständiger zu erreichen, indem man die erlangten Resultate auf das Studium der von der Wärme in der Doppelbrechung dieses Krystalls hervorgebrachten Effecte anwandte, ein Studium, das darin bestehen mufste, die Modificationen der beiden Brechungsindices aufzusuchen und demzufolge die numerischen Werthe der durch verschiedene Wärmegrade bewirkten Aenderungen der Lichtgeschwindigkeit in dieser Substanz, sowohl für den ordentlichen als den aufserordentlichen Strahl zu bestimmen.

Versuche über die Veränderungen der beiden Brechungsindices im Bergkrystall.

Zwei Tafeln enthalten die bei verschiedenen Temperatur-Anwüchsen beobachteten Verschiebungen der Fransen. Es mufs daran erinnert werden, dafs, nach dem Princip dieser Beobachtungen, die besagten Fransen bei normaler Reflexion an der Oberfläche der Platten entstehen, und zwar durch Interferenz der von der ersten Fläche zurückgesandten Strahlen mit denen von der unteren Fläche reflectirten, welche die Dicke der Platte zwei Mal durchlaufen haben. Dieser letztere Strahl ist derjenige, der durch die Temperatur-Erhöhung Gang-Unterschiede erleidet, welche die Bedingungen der Interferenz mit dem ersten Strahl abändern und dadurch die beobachteten Verschiebungen der Fransen veranlassen.

Die durch diese Verschiebungen offenbarten Gang-Unterschiede rühren von zwei wohl verschiedenen Ursachen her: 1) Von der Ausdehnung der Platte winkelrecht gegen deren Fläche, woraus eine Aenderung ihrer Dicke entspringt; 2) Von einer gewissen Modification in der Constitution des den Strahl leitenden Mittels selbst, woraus eine Aenderung des Brechungsindexes und folglich der Lichtgeschwindigkeit hervorgeht. Diefs letztere Phänomen findet sich also numerisch bestimmt, sobald, wie im vorhergehenden Fall, die Ausdehnung durch besondere Beobachtungen gemessen worden ist.

Mehre andere physische Eigenschaften der Krystalle, welche zu diesen Versuchen dienten, wurden sorgfältig studirt. Hr. Damour war so gut, die Messung der Dichtigkeiten zu übernehmen. Die Brechungsindices, das Drehungsvermögen und dessen Veränderung durch die Wärme waren ebenfalls der Gegenstand besonderer Messungen. Die Krystalle wurden von Hrn. H. Soleil geschickt geschnitten.

Nachdem die verschiedenen, vorhin angeführten numerischen Elemente festgestellt worden, gelangt man endlich dahin, die Störungen zu bestimmen, welche die Effecte der Doppelbrechung in Wahrheit in dem Krystall erleiden, wenn er erhitzt wird.

Zwei Tafeln bieten die numerischen Elemente dieser Bestimmungen dar. Aus den Zahlen der ersten Tafel ersieht man, dafs beide Indices in dem erhitzten Bergkrystall abnehmen, dafs aber der aufserordentliche rascher abnimmt. Nun hat in diesem Krystall, welcher positiv ist, der aufserordentliche Index einen gröfseren Zahlenwerth als der ordentliche; und daraus folgt, dafs die beiden Indices, indem sie abnehmen, einander näher kommen, und dafs mithin die Stärke der Doppelbrechung in dem Bergkrystall allmählich abnimmt in dem Maafse wie die Temperatur steigt.

Der Kalkspath bietet anscheinend dasselbe Phänomen dar, aber vermöge eines in Wahrheit ganz anderen Vorgangs. In diesem Krystall, welcher negativ ist, ist der aufserordentliche Index der schwächere und er wächst mit

Temperatur-Erhöhung ziemlich rasch, während der ordentliche, welcher der stärkere ist, um eine fast unmerkliche Gröfse zunimmt. Die beiden Indices kommen daher auch im Kalkspath einander näher, aber indem sie wachsen, statt wie im Bergkrystall abzunehmen.

Man hat geglaubt, dafs diese Abnahme in der Stärke der Doppelbrechung beim Kalkspath verknüpft seyn könnte mit der Aenderung der Krystallform, deren stumpfe Rhomboëder (von 105° 5′) sich beim Erwärmen der Würfelform nähern. Allein diese Erklärung scheint nicht vereinbar zu seyn mit den Phänomenen, welche der Bergkrystall darbietet. Die diesem Krystall beigelegte Grundform ist auch ein stumpfes Rhomboëder (von 94° 14′) und, wie aus den oben gegebenen Werthen der beiden Haupt-Ausdehnungen hervorgeht, entfernt sich diese Rhomboëderform beim Erhitzen von der Würfelform; und dennoch nimmt die Doppelbrechung ab, statt zu, wie es die Formveränderung vermuthen lassen könnte.

Man sieht wie sonderbar und unerwartet die meisten der Erscheinungen sind, welche bei krystallisirten Körpern die Ausdehnung durch die Wärme und die entsprechenden Abänderungen der Lichtgeschwindigkeit darbieten. Allein je schwieriger es beim gegenwärtigen Zustand unserer Kenntnisse zu seyn scheint, das alle diese Phänomene vereinende Band aufzufinden, desto mehr steht vielleicht zu hoffen, dafs ein ähnliches, mit Ausdauer fortgesetztes Studium mehrer in Natur und Eigenschaften verschiedener Substanzen fruchtbar seyn werde an neuen Thatsachen in Betreff der mechanischen Constitution der Körper, deren Beziehung zu Wärme und Licht, so wie an numerischen Daten, geeignet den Theorien über die Natur und die Eigenschaften des ätherischen Mittels, in welchem sich das Licht beim Durchgang durch durchsichtige Körper fortpflanzt, als sicherere Basis zu dienen.

IX. *Zur Klangfarbe der Vocale. Vorläufige Notiz von F. C. Donders.*

Seit Kurzem habe ich meine Studien über die Klangfarbe der Vocale wieder aufgenommen, und dabei den Versuch gemacht, die Schwingungsform mit dem von König modificirten Phonautographen von Scott zu registriren.

Wie bekannt, besteht dieses Instrument aus einem Paraboloïd von Metall, an dessen abgeschnittenen Scheitel eine elastische Membran aufgespannt ist, welche durch die von der anderen geöffneten Seite eintretenden und theilweise an der inneren Wand reflectirten Wellen von verschiedenen Klängen in Schwingungen versetzt wird, und welche diese durch ein aufgekittetes Stielchen auf einem mit geschwärzten Papier überzogenen, ziemlich schnell um seine Axe gedrehten Cylinder registrirt.

Mittelst kleiner Modificationen, besonders am schreibenden Stielchen, ist es mir gelungen, schöne und getreue Abbildungen von sehr complicirten Schwingungen zu erhalten. Nicht nur die Klangfarbe der Vocale, sondern auch die Modificationen beim Uebergang zu Consonanten, wie weiter die Klangfarbe von verschiedenen Musikinstrumenten, sogar in ihren verschiedenen Tönen, bekunden sich in den erhaltenen Curven.

Die *Bedingungen* zum erwünschten Erfolg sind hauptsächlich diese:

1. Die Membran mufs derart gespannt und mit Gewicht beschwert seyn, dafs sie die Vibrationen von sehr verschiedener Tonhöhe annehmen kann, damit sie auch mit den höheren Obertönen der Klänge resonire.

2. Das Stielchen (ein zugespitzter in der Vertial-Ebene gebogener und elastischer Span von einer Federspule) mufs in einer senkrecht zur Axe des Cylinders stehenden Ebene liegen, mit der Spitze dem Cylinder ziemlich stark angedrückt, und in einer horizontalen Ebene vibriren, ohne in dieser Ebene biegsam zu seyn. Diese Schwingungsebene erhält man dadurch, dafs das Federchen in der verticalen Richtung, in der Mitte der Membran, in der horizontalen etwas excentrisch aufgeklebt wird.

Das richtige Verhältnifs ist gefunden, wenn ein einfacher Ton als eine einfache Sinus-Curve registrirt wird.

Die erhaltenen *Resultate* sind zunächst folgende:

1. Bei gleicher Spannung der Membran erhält man, mit demselben in gleicher Weise dem Cylinder angelegten Federchen, für denselben Klang jedesmal durchaus dieselbe Curve. Hieraus geht hervor, dafs in zusammengesetzten Klängen die Phasen der verschiedenen Partialtöne, in Bezug auf einander, immer dieselben sind.

2. Bei gleicher Spannung der Membran giebt dasselbe in gleicher Weise angelegte Federchen für jeden verschiedenen Klang eine eigenthümliche oft sehr zusammengesetzte Curve.

3. Grofse Verschiedenheiten der Spannung und der Federchen modificiren die relative Gröfse der den verschiedenen Partialtönen entsprechenden Amplituden.

4. Jeder der vierzehn Vocale, bei einem bestimmten Ton gesungen, producirt eine constante Curve. Während diese für die meisten Vocale complicirt und durchaus charakteristisch ist, findet man für *u*, und besonders für *ü* und *i* nahezu einfache Sinus-Curven.

5. Für jeden Vocal ändert sich die Form der Curve mit der Tonhöhe. Dieses Resultat hängt zusammen mit der Eigenthümlichkeit der Vocale, dafs ihre Klangfarbe nicht durch Obertöne einer bestimmten Ordnung zum Grundton, sondern vielmehr durch Obertöne von nahezu absoluter Schwingungszahl bedingt wird.

6. Für verschiedene Individuen kommen, je nach der Klangfarbe der Stimme und dem Dialect der Sprache, Modificationen vor, wobei aber im Ganzen der Charakter der Curve unverändert bleibt.

7. Die Falsett-Stimme giebt, bei demselben Ton, für denselben Vocal eine einfachere Curve als die Bruststimme.

8. Indem die Membran bei gehöriger Beschwerung mit Gewicht kaum selbständige Schwingungen hat, und demnach auch kaum nachschwingt, kann man für Diphthongen die Dauer und die Schwingungsformen des Ueberganges von einem Vocal zum anderen genau bestimmen.

9. Die drei Resonanten produciren nahezu einfache Sinus-Curven, die aber unter einander noch kleine constante Abweichungen zeigen.

10. Viele Consonanten, vor oder nach dem Vocal ausgesprochen, modificiren in eigenthümlicher Weise den Anfang, respective das Ende der Vocal-Curve.

Gedruckt bei A. W. Schade in Berlin, Stallschreiberstr. 47.

1864. ANNALEN *No.* 12
DER PHYSIK UND CHEMIE.
BAND CXXIII.

I. *Ueber die Eigenschaften der Kieselsäure und anderer analoger Colloïdsubstanzen;* *von Thomas Graham.*

(Aus den *Proceedings of the Royal Society*, 16. Juni 1864, von Hrn. Verf. übersandt).

Die in Bezug auf Löslichkeit herrschenden Begriffe sind vornehmlich von Betrachtungen über krystallinische Salze abgeleitet und sind nur sehr unvollkommen anwendbar auf die Klasse der Colloïdsubstanzen. Kieselsäurehydrat, zum Beispiel, ist im löslichen Zustand ganz eigentlich gesprochen ein flüssiger Körper, wie Alkohol, in allen Verhältnissen mischbar mit Wasser. Wir können hinsichtlich der Kieselsäure nicht von Graden der Löslichkeit sprechen, wie von den Graden der Löslichkeit eines Salzes, es sey denn mit Bezug auf Kieselsäure im gelatinösen Zustand, welche man gewöhnlich als unlöslich betrachtet. Die Kieselsäuregallerte kann mehr oder weniger reich an gebundenem Wasser seyn, wenn sie frisch bereitet ist, und sie scheint löslich zu seyn im Verhältnifs des Betrages ihres Wassergehaltes. Eine Gallerte, welche 1 Procent Kieselsäure enthält, giebt mit kaltem Wasser eine Lösung, welche ungefähr 1 Kieselsäure in 5000 Wasser enthält; eine Gallerte, die 5 Procent Kieselsäure enthält, giebt eine Lösung, welche ungefähr 1 Theil Säure in 10000 Wasser enthält. Eine weniger wasserreiche Gallerte, als die zuletzt genannte, ist noch weniger löslich, und wenn endlich die Gallerte wasserfrei gemacht ist, so giebt sie weifse, wie Gummi aussehende Massen, welche ganz unlöslich zu seyn scheinen, wie die leichte, staubige Kieselsäure, welche man bei der gewöhn-

lichen Silicatanalyse erhält, indem man eine mit Salzen beladene Gallerte trocknet.

Das Flüssigseyn der Kieselsäure wird nur durch eine bleibende Umwandlung (nämlich Coagulation oder Pectisation) afficirt, durch welche die Säure in die gelatinöse oder pectöse Form umgewandelt wird und ihre Mischbarkeit mit Wasser verliert. Das Flüssigseyn ist permanent im Verhältnifs zum Grade der Verdünnung der Kieselsäure und scheint durch eine niedrige Temperatur begünstigt zu werden; umgekehrt wirkt Concentration und Temperaturerhöhung ihm entgegen. Eine flüssige Kieselsäure von 10 oder 12 Procent wird bei gewöhnlicher Temperatur in wenigen Stunden von selbst pectös, und sofort, wenn sie erhitzt wird. Eine Flüssigkeit von 5 Procent kann fünf oder sechs Tage lang aufbewahrt werden, eine Flüssigkeit von 2 Procent zwei oder drei Monate, und eine Flüssigkeit von 1 Procent war noch nach zwei Jahren nicht pectös geworden. Verdünnte Lösungen von $\frac{1}{10}$ Procent oder weniger werden ohne Zweifel durch die Zeit so gut wie nicht verändert und daher rührt die Möglichkeit, dafs lösliche Kieselsäure in der Natur existirt. Ich mufs indessen hinzufügen, dafs keine Lösung von Kieselsäure in Wasser, verdünnt oder concentrirt, irgend eine Neigung gezeigt hat, *Krystalle* abzusetzen, sondern immer beim Trocknen als ein colloïdaler, glasiger Hyalith erscheint. Die Bildung von Quarzkrystallen bei niedriger Temperatur, wie man sie so häufig in der Natur findet, bleibt noch ein Geheimnifs. Ich kann mir nur denken, dafs solche Krystalle auf eine unbegreifliche langsame Weise und aus Lösungen von Kieselsäure, die aufserordentlich verdünnt sind, gebildet werden. Verdünnung schwächt ohne Zweifel den colloïdalen Charakter von Substanzen und kann daher ihrer Tendenz zu krystallisiren Raum geben und sie zu entwickeln erlauben, besonders wo der ein Mal gebildete Krystall ganz unlöslich ist, wie beim Quarz.

Die Pectisation von flüssiger Kieselsäure wird durch Contact mit pulverförmigem festen Stoff befördert. Durch

Contact mit gestofsenem Graphit, welcher chemisch inactiv ist, wird die Pectisation einer 5procentigen Kieselsäure in einer oder zwei Stunden zu Stande gebracht, und die einer 2procentigen Kieselsäure in zwei Tagen. Eine Steigerung der Temperatur um 1°,1 C. wurde während der Bildung der 5procentigen Gallerte beobachtet.

Der schliefslichen Pectisation der Kieselsäure geht eine stufenweise Verdickung in der Flüssigkeit selbst vorher. Das Strömen flüssiger Colloïde durch ein Capillarrohr ist immer langsam im Vergleich mit dem Strömen von Krystalloïdlösungen, so dafs ein Flüssigkeits-Transpirations-Rohr als ein Colloïdoskop angewendet werden kann. An einer Colloïdflüssigkeit, deren Zähigkeit veränderlich ist, wie Kieselsäure, ist der wachsende Widerstand gegen den Durchgang durch das Colloïdoskop von Tage zu Tage wahrnehmbar. Unmittelbar vor dem Gelatiniren fliefst die Kieselsäure wie ein Oel.

Eine hervorragende Eigenschaft der Colloïde ist die Tendenz ihrer Theilchen, zu adhäriren, sich zu aggregiren und zusammenzuziehen. Diese Selbst-Anziehung findet statt bei der allmählichen Verdickung der Flüssigkeit und führt, wenn dieselbe fortschreitet, zur Pectisation. In der Gallerte selbst schreitet die fragliche specifische Contraction oder *Synaeresis* noch fort, indem sie Wasserabscheidung veranlafst, zugleich mit der Trennung in einem Klumpen und ein Serum, und indem sie mit der Erzeugung einer harten steinigen Masse von gleicher Structur endigt, welche wasserfrei seyn kann, oder doch nahezu wasserfrei, wenn man dem Wasser gestattet, durch Verdunstung zu entweichen. Die starke Synaeresis von Hausenblase, welche in einem Glasgefäfs über Schwefelsäure im Vacuum getrocknet ist, befähigt die sich zusammenziehende Gelatine, die Oberfläche des Glases aufzureifsen.

Glas selbst ist ein Colloïd und die Adhäsion von Colloïd an Colloïd scheint stärker zu seyn, als die von Colloïd an Krystalloïd. Wenn die Gelatine in der beschriebenen Weise auf Platten von Kalkspath oder Glimmer ge-

trocknet wurde, so adhärirte sie nicht an der krystallinischen Oberfläche, sondern löste sich beim Trocknen ab. Polirte Glasplatten dürfen nicht in Berührung gelassen werden, wie ganz bekannt ist, wegen der Gefahr einer permanenten Adhäsion zwischen ihren Oberflächen. Die Adhäsion von Stücken glasiger Phosphorsäure an einander dient schon lange zu Erläuterung der colloïdalen Synaeresis.

Wenn man im Sinne behält, dafs die colloïdale Phasis einer Substanz das Resultat einer besondern Anziehung und Anordnung der Molecüle ist, Eigenschaften, welche dem Stoff nie ganz fehlen, aber in einigen Substanzen vielmehr entwickelt sind als im andern, so kann es nicht auffallen, dafs die Colloïd-Charaktere sich nach beiden Seiten hin bis in den flüssigen und festen Zustand geltend machen.

Diese Charaktere erscheinen in der Zähigkeit von Flüssigkeiten und in der Weichheit und Neigung gewisser krystallinischer Substanzen zur Adhäsion. Metaphosphat von Natron ist, nachdem es durch Hitze geschmolzen, ein wirkliches Glas oder Colloïd; aber wenn dieses Glas während einiger Minuten auf einer Temperatur wenige Grade unter seinem Schmelzpunkt erhalten wird, so nimmt es eine krystallinische Structur an, ohne seine Durchsichtigkeit zu verlieren. Ungeachtet dieser Veränderung bleibt die geringe Diffusibilität des Salzes dieselbe, ebenso wie andere Charaktere eines Colloïds. Wasser in der Form von Eis ist bereits als eine ähnliche intermediäre Form hingestellt worden, zugleich Colloïd und krystallinisch und in ersterer Eigenschaft adhäsiv und fähig zur Widervereinigung oder »Regelation«.

Es ist unnöthig, hier auf die Thatsache der schnellen Pectisation flüssiger Kieselsäure durch Alkalisalze, mit Einschlufs einiger sehr wenig löslicher, wie kohlensaurer Kalk, zurückzukommen; nur wollen wir feststellen, dafs man beobachtet hat, die Anwesenheit von kohlensaurem Kalk in Wasser sey unverträglich mit dem gleichzeitigen Vorhandenseyn löslicher Kieselsäure, bis das Verhältnifs der letzteren auf nahezu 1 in 1000 Wasser reducirt ist.

Gewisse flüssige Substanzen unterscheiden sich von den Salzen dadurch, dafs sie einen geringen oder keinen pectisirenden Einflufs auf flüssige Kieselsäure ausüben. Aber andrerseits scheint keine der eben erwähnten Flüssigkeiten zur Erhaltung des flüssigen Zustandes des Colloïds beizutragen, wenigstens nicht mehr, als das Zufügen von Wasser thun würde. Zu diesen inactiven Verdünnungsmitteln der Kieselsäure gehören die Chlorwasserstoff-, Salpeter-, Essig- und Wein-Säure, Zuckersyrup, Glycerin und Alkohol. Aber alle die genannten flüssigen Substanzen und viele andere scheinen eine wichtige Beziehung zur Kieselsäure zu haben, von ganz anderer Natur als die pectisirende Wirkung der Salze. Sie sind fähig das gebundene Wasser des Kieselsäurehydrats, mag das Hydrat im flüssigen oder im gelatinösen Zustande sich befinden, zu deplaciren, und geben neue Substitutionsproducte.

Eine flüssige Verbindung von *Alkohol* und Kieselsäure wurde erhalten durch Hinzufügen von Alkohol zu wäfsriger Kieselsäure und demnächstige Anwendung geeigneter Mittel, das Wasser aus der Mischung zu entfernen. Zu diesem Ende kann die in einer Tasse enthaltene Mischung über trocknes kohlensaures Kali oder über Aetzkalk unter den Recipienten einer Luftpumpe gestellt werden. Oder ein Dialysirbeutel von Pergamentpapier, welcher Alkohol und Kieselsäure gemischt enthält, kann in einem Krug voll Alkohol aufgehängt werden; das Wasser diffundirt hinweg und läfst in dem Beutel eine nur aus Alkohol und Kieselsäure zusammengesetzte Flüssigkeit zurück. Ein Punkt, auf den man achten mufs, ist der, dafs die Kieselsäure nie mehr, als 1 Procent der alkoholischen Lösung betragen darf, sonst könnte sie während des Versuchs gelatiniren. Wenn es mir gestattet seyn dürfte, die flüssigen und die gelatinösen Kieselsäurehydrate durch die regelmäfsig gebildeten Ausdrücke *Hydrosol* und *Hydrogel* der Kieselsäure zu unterscheiden, so könnten die beiden soeben erwähnten correspondirenden alkoholischen Körper das Alkosol und Alkogel der Kieselsäure genannt werden.

Das *Alkosol* der Kieselsäure, welches 1 Procent der letzteren enthält, ist eine farblose Flüssigkeit, die nicht durch Wasser oder Salze gefällt wird, noch auch durch Berührung mit unlöslichen Pulvern, wahrscheinlich wegen der geringen Menge der in Lösung befindlichen Kieselsäure. Es kann ohne Veränderung gekocht und verdampft werden, aber gelatinirt durch eine geringe Concentration. Der Alkohol wird im Akosol der Kieselsäure weniger fest zurückgehalten als das Wasser im Hydrosol, aber mit derselben ungleichmäfsigen Kraft, indem eine kleine Quantität des Alkohols so stark festgehalten wird, dafs sie verkohlt, wenn die entstandene Gallerte rasch bei einer hohen Temperatur abdestillirt wird. Nicht eine Spur von Kieseläther wurde in irgend einer Verbindung dieser Klasse gefunden. Die Gallerte brennt leicht an der Luft, alle Kieselsäure in Form einer weifsen Asche zurücklassend.

Das *Alkogel* oder die feste Verbindung, wird leicht erhalten, indem man Massen von gelatinöser Kieselsäure, die 8 bis 10 Procent der trocknen Säure enthält, in absoluten Alkohol einträgt und den letzteren wiederholentlich erneut, bis das Wasser des Hydrogels völlig durch Alkohol ersetzt ist. Das Alkogel ist im Allgemeinen schwach opalisirend und gleicht im Ansehen dem Hydrogel, indem es fast ganz dessen ursprüngliches Volum beibehält. Folgendes ist die Zusammensetzung eines Alkogels, welches sorgfältig aus einem 9,35 Procent Kieselsäure enthaltenden Hydrogel bereitet war:

Alkohol	88,13
Wasser	0,23
Kieselsäure	11,64
	100,00

In Wasser gethan wird das Alkogel allmählich zersetzt, indem Alkohol herausdiffundirt und Wasser statt dessen hineintritt, so dafs wieder ein Hydrogel entsteht.

Ferner kann das Alkogel zum Ausgangspunkt für die Bildung einer grofsen Menge anderer, durch Substitution zu erhaltender Gallerte analoger Constitution gemacht wer-

den, indem die einzig erforderliche Bedingung die zu seyn scheint, dafs die neue Flüssigkeit und der Alkohol mit einander mischbar sind, d. h. dafs sie Körper sind, die in einander diffundiren können. Verbindungen von Aether, Benzol, Schwefelkohlenstoff sind so erzeugt worden. Von dem *Aetherogel* kann wiederum eine andere Reihe Kieselsäuregallerte abgeleitet werden, welche Flüssigkeiten enthalten, die in Aether löslich sind, wie die nicht flüchtigen Oele.

Die Bereitung der *Glycerinverbindung* der Kieselsäure wird durch die verhältnifsmäfsig geringe Flüchtigkeit dieser Flüssigkeit erleichtert. Wenn man Kieselsäurehydrat zuerst in Glycerin taucht und dann in dieser Flüssigkeit kocht, so destillirt Wasser über ohne irgend eine Veränderung im Aussehen der Gallerte, aufser dafs, wenn sie anfangs opalisirend war, sie jetzt ganz farblos wird und aufhört sichtbar zu seyn, wenn sie von der Flüssigkeit bedeckt ist. Aber ein Theil der Kieselsäure wird gelöst und es entsteht ein *Glycerosol* gleichzeitig mit der Glycerin-Gallerte. Ein Glycerogel, bereitet aus einem 9,35 Procent Kieselsäure enthaltendem Hydrat, war zufolge einer Verbrennungsanalyse zusammengesetzt aus:

Glycerin	87,44
Wasser	3,78
Kieselsäure	8,95
	100,17

Das Glycerogel hat etwas weniger Umfang, als das ursprüngliche Hydrogel. Wenn eine Glyceringallerte mit Hülfe von Hitze destillirt wird, so schmilzt sie nicht, aber alles Glycerin geht über mit einer geringfügigen Zersetzung gegen Ende des Processes.

Die Schwefelsäureverbindung, das *Sulphagel*, ist ebenfalls interessant wegen der Leichtigkeit, mit welcher sie sich bildet und wegen der Vollständigkeit, mit der das Wasser aus dem ursprünglichen Hydrogel entfernt wird. Eine Masse Kieselsäurehydrat kann, ohne zu zerbrechen, bewahrt werden, wenn sie zuerst in Schwefelsäure, die mit 2 oder 3

Volumen Wasser verdünnt ist, gethan wird und dann allmählich in stärkere Säuren gebracht wird, bis man sie zuletzt in concentrirtes Vitriolöl thut. Das Sulphagel sinkt in der letzteren Flüssigkeit unter und kann mit einem Ueberschufs derselben Stunden lang gekocht werden, ohne seine Durchsichtigkeit oder seinen gelatinösen Charakter zu verlieren. Es ist stets etwas geringer an Volum, als das ursprüngliche Hydrogel, aber fürs Auge nicht mehr als $\frac{1}{5}$ oder $\frac{1}{6}$ des ursprünglichen Volums. Diefs Sulphagel ist durchsichtig und farblos. Wenn ein Sulphagel stark in einem offenen Gefäfs erhitzt wird, so findet man, dafs die letzten Antheile des gebundenen ersten Hydrats der Schwefelsäure, um ausgetrieben zu werden, eine höhere Temperatur erfordern, als der Kochpunkt der Säure ist. Alle Kieselsäure bleibt zurück und bildet eine weifse, undurchsichtige, poröse Masse, wie Bimsstein. Legt man ein Sulphagel in Wasser, so wird es bald zersetzt und das ursprüngliche Hydrogel wieder erzeugt. Unter keinen Umständen scheint eine beständige Verbindung von Schwefelsäure und Kieselsäure, von der Natur eines Salzes, gebildet zu werden. Ein Sulphagel in Alkohol gelegt, giebt schliefslich ein reines Alkogel. Aehnliche Kieselsäure-Gallerte werden leicht gebildet mit den ersten Hydraten von Salpeter-, Essig- und Ameisen-Säure und sind alle vollkommen durchsichtig.

Die Erzeugung der eben beschriebenen Kieselsäureverbindungen zeigt, dafs ein Colloïd eine Affinität von weiterem Umfange besitzt, als man füglich vorhersehen konnte. Die organischen Colloïde sind ohne Zweifel mit ähnlichen weit umfassenden Verwandtschaftskräften ausgestattet, was für den Physiologen von Interesse werden kann. Die Fähigkeit einer Masse von Kieselsäuregallerte, Alkohol oder selbst Oleïn an die Stelle von gebundenem Wasser ohne Zerstörung oder Veränderung der Form aufzunehmen, kann vielleicht einen Schlüssel abgeben für die Durchdringung der albuminartigen Substanz der Membran durch fettige und andere unlösliche Körper, welche bei der Digestion von Nahrung vorzukommen scheint. Noch bemerkenswer-

ther und mehr Aufschlufs versprechend, sind die *flüssigen* Verbindungen der Kieselsäure. Die flüssige Alkoholverbindung begünstigt die Möglichkeit der Existenz einer Verbindung des Colloïdes Albumen mit Oleïn ebenfalls löslich und fähig mit dem Blute zu circuliren.

Die Schwäche der Kraft, welche zwei Substanzen zusammenhält, die zu zwei verschiedenen Klassen gehören, indem die eine ein Colloïd, die andere ein Krystalloïd ist, ist ein Gegenstand, der Beachtung verdient. Wenn eine solche Verbindung in eine Flüssigkeit gebracht wird, so kann das überlegene Diffusionsvermögen des Krystalloïds seine Trennung von dem Colloïd bewirken. So verläfst im Kieselsäurehydrat das gebundene Wasser (ein Krystalloïd) die Säure (ein Colloïd), um in den Alkohol zu diffundiren, und wird der Alkohol wiederholentlich erneut, so wird alles Wasser auf diese Weise fortgeschafft, indem gleichzeitig Alkohol (ein anderes Krystalloïd) die Stelle von Wasser in Verbindung mit Kieselsäure einnimmt. Die Flüssigkeit, welche im Ueberschufs vorhanden ist (hier der Alkohol), nimmt vollständig Besitz von der Kieselsäure. Der Procefs kehrt sich um, wenn ein Alkogel in ein beträchtliches Volum Wasser gethan wird. Dann scheidet sich Alkohol von der Verbindung in Folge der Gelegenheit, welche er findet, in Wasser zu diffundiren, und Wasser, welches nun die im Ueberschufs vorhandene Flüssigkeit ist, nimmt wieder Besitz von der Kieselsäure. Solche Verbindungen erläutern den praedominirenden Einflufs der Masse.

Selbst die Verbindungen der Kieselsäure mit Alkalien geben dem zersetzenden Einflufs der Diffusion nach. Die Verbindung der Kieselsäure mit 1 oder 2 Procent Natron ist eine Colloïdlösung und erleidet allmähliche Zersetzung, wenn sie, um Kohlensäure abzuhalten, im Vacuum in einen Dyalisator über Wasser gesetzt wird. Das Natron diffundirt langsam als kaustisches Natron weg und giebt das gewöhnliche braune Silberoxyd, wenn es mit dem Nitrat dieser Base geprüft wird.

Die Pectisation flüssiger Kieselsäure und vieler anderer

flüssiger Colloïde wird durch Berührung mit kleinen Quantitäten von Salzen auf eine unerklärte Weise bewirkt. Andrerseits kann die gelatinöse Säure wieder verflüssigt und ihre Wirksamkeit wieder hergestellt werden durch Berührung mit einer sehr kleinen Menge Alkali. Die letztere Umwandlung findet allmählich statt, indem ein Theil kaustischen Natrons in 10000 Wasser gelöst 200 Theile Kieselsäure (im trocknen Zustande gerechnet) in 60 Minuten bei 100° C. verflüssigt. Gelatinöse Zinnsäure wird ebenfalls leicht durch eine kleine Quantität Alkali selbst bei gewöhnlicher Temperatur verflüssigt. Das Alkali kann dazu noch, nachdem es das gelatinöse Colloïd verflüssigt hat, wieder von demselben durch Diffusion in Wasser auf einem Dialysator getrennt werden. Die Auflösung dieser Colloïde unter solchen Umständen kann als analog der Auflösung unlöslicher organischer Colloïde, wie sie bei der thierischen Digestion beobachtet ist, betrachtet werden, mit dem Unterschied, dafs die lösende Flüssigkeit hier nicht sauer, sondern alkalisch ist. Flüssige Kieselsäure kann man als das »Pepton« der gelatinösen Kieselsäure ansehen, und man kann von der Verflüssigung der letzteren durch eine Spur Alkali sprechen, wie von der Peptisation der Gallerte. Noch genauer können die durch Dialysen bereiteten reinen Gallerte von Thonerde, Eisenoxyd und Titansäure mit Albumen verglichen werden, da sie durch kleine Quantitäten von Chlorwasserstoffsäure peptisirt werden.

Flüssige Zinn- und Metazinn-Säure. Flüssige Zinnsäure wird bereitet durch Dialysiren von Zinnchlorid unter Hinzufügung von Alkali, oder durch Dialyse von Natronstannat unter Zufügung von Chlorwasserstoffsäure. In beiden Fällen wird zuerst eine Gallerte auf dem Dialysator gebildet, aber wenn die Salze hinweg diffundiren, so wird die Gallerte wieder durch die kleine Menge zurückbleibenden freien Alkalis peptisirt: das Alkali selbst kann durch fortgesetzte Diffusion entfernt werden, indem ein oder zwei Tropfen Iodtinctur die Trennung erleichtern. Die flüssige Zinnsäure wird, wenn man sie erhitzt, in flüssige Metazinn-

säure verwandelt. Beide flüssige Säuren sind wegen der Leichtigkeit bemerkenswerth, mit welcher sie sowohl durch Hinzufügung von wenig Chlorwasserstoffsäure, als durch Salze pectisirt werden.

Flüssige Titansäure erhalten wir, wenn man gelatinöse Titansäure in einer kleinen Quantität von Chlorwasserstoffsäure ohne Anwendung von Hitze löst und die Flüssigkeit für einige Tage auf einen Dialysator bringt. Die Flüssigkeit darf nicht mehr als 1 Procent Titansäure enthalten, sonst gelatinirt sie von selbst, aber sie scheint beständiger, wenn sie verdünnt ist. Sowohl Titansäure, als auch die beiden Zinnsäuren liefern dieselben Klassen von Verbindungen mit Alkohol etc., wie sie bei der Kieselsäure erhalten wurden.

Flüssige Wolframsäure. Die Dunkelheit, welche so lange über der Wolframsäure geschwebt hat, ist durch eine Untersuchung mit dem Dialysator beseitigt. Sie ist in der That ein bemerkenswerthes Colloïd, von welchem bisher allein die pectöse Form bekannt war. Flüssige Wolframsäure wird bereitet, indem man verdünnte Chlorwasserstoffsäure vorsichtig und in einem geringem Ueberschufs zu einer 5procentigen Lösung von wolframsauren Natron fügt und die erhaltene Flüssigkeit dann auf einen Dialysator bringt. In Zwischenräumen von zwei Tagen mufs die Hinzufügung von Chlorwasserstoffsäure 2 oder 3 Mal wiederholt und die Dialyse fortgesetzt werden, um alles Alkali zu entfernen. Es ist bemerkenswerth, dafs die *gereinigte* Säure bei gewöhnlicher Temperatur durch Säuren, Salze oder Alkohol nicht pectisirt wird. Zur Trocknifs verdampft bildet sie glasige Blättchen, wie Gummi oder Gelatine, welche zuweilen so fest an der Oberfläche der Abdampfschale haften, dafs sie Theile derselben losreifsen. Sie kann bis zu 200° C. erhitzt werden, ohne ihre Löslichkeit zu verlieren oder in den pectösen Zustand überzugehen; aber bei einer Temperatur nahe der Rothgluth erleidet sie eine moleculare Veränderung, indem sie zugleich 2,42 Procent Wasser verliert. Fügt man Wasser zur unveränderten

Wolframsäure, so wird sie kleistrig und adhärirt wie Gummi, und sie bildet mit ungefähr $\frac{1}{4}$ ihres Gewichts Wasser eine Flüssigkeit, welche so dicht ist, dafs Glas darauf schwimmt. Die Lösung braust mit kohlensaurem Natron auf. Der Geschmack von Wolframsäure in wäfsriger Lösung ist nicht metallisch oder sauer, sondern vielmehr bitter und adstringirend. Lösungen von Wolframsäure, welche 5, 20, 50, 66,5 und 79,8 Procent trockner Säure enthalten, besitzen bei 19° die folgenden Dichtigkeiten: 1,0475, 1,2168. 1,8001, 2,396 und 3,243. Im Vacuum eingedampft, ist flüssige Wolframsäure farblos; aber an der Luft wird sie grünlich, augenscheinlich durch die desoxydirende Wirkung organischer Materie.

Flüssige Kieselsäure wird am Pectisiren gehindert, wenn sie mit Wolframsäure gemischt ist, ein Umstand der wahrscheinlich mit der Bildung der Doppelverbindungen dieser beiden Säuren zusammenhängt, welche Marignac neuerdings nachgewiesen hat.

Molybdänsäure ist bisher (wie Wolframsäure) nur in der unlöslichen Form bekannt gewesen. Krystallisirtes molybdänsaures Natron in Wasser gelöst, wird durch allmähliches Hinzufügen von Chlorwasserstoffsäure im Ueberschufs ohne unmittelbare Fällung zersetzt. Die saure Flüssigkeit auf einen Dialysator gebracht, kann nach einigen Stunden gelatiniren, aber wird von selbst wieder flüssig, wenn die Salze hinwegdiffundiren. Nach wiederholtem Hinzufügen von Chlorwasserstoffsäure und einer Diffusion von mehren Tagen bleiben ungefähr 60 Procent flüssiger Molybdänsäure im reinen Zustande zurück. Bei der Dialyse sowohl der Wolfram- als auch der Molybdänsäure ist die Osmose sehr grofs, indem die sauren Lösungen zu dem zwei- oder dreifachen ihres ursprünglichen Volums anwachsen. Die in Folge dessen eintretende Verdünnung bewirkt, dafs die Reinigung langsam stattfindet im Vergleich zu derjenigen der Kieselsäure, bei welcher die Osmose unbeträchtlich ist. Die Lösung ist gelb, adstringirend von Geschmack, reagirt sauer auf Reagenspapier und besitzt ein grofse Be-

ständigkeit. Die Säure kann bei 100° getrocknet werden, ohne sofort ihre Löslichkeit zu verlieren. Trockne Molybdänsäure hat dasselbe gummiartige Aussehen wie Wolframsäure. Nahezu auf den Punkt erhitzt, bei welchem sie sich verflüchtigt, wird reine pulvrige Molybdänsäure noch in einer Lösung von Carbonat oder Bicarbonat von Kali unter Aufbrausen von Kohlensäuregas gelöst.

Beide Säuren verlieren, mit Natron verbunden, ihre Colloïdalität und geben mannigfache krystallisirbare Salze. Die reinen flüssigen Säuren werden auch unlöslich, wenn sie einige Zeit mit Chlorwasserstoffsäure und andern starken Säuren erhitzt werden.

II. *Ueber die Doppelbrechung des Lichtes in tönenden Stäben*[1]; *von Dr. August Kundt.*

Biot machte im Jahre 1820 die Entdeckung[2]), dafs ein langer Glasstreifen, in longitudinale Schwingungen versetzt, einen Einflufs auf die Polarisation des durch denselben hindurchgehenden Lichtes ausübe. Ein etwa 2 Meter langer Spiegelglasstreifen, dessen Savart sich bei seinen Untersuchungen bedient hatte und der sich dadurch auszeichnete, dafs die Töne in demselben sehr leicht und schön hervorgerufen werden konnten, wurde zwischen zwei gekreuzte polarisirende Spiegel gebracht. In dem Moment nun, in dem der Streifen ertönte, erschien derselbe hellglänzend in dem analysirenden Spiegel und dieser Lichtschein erlosch sofort, wenn der Ton verklang.

Bisjetzt steht dieser Versuch von Biot vereinzelt da. Aehnliche Untersuchungen sind in umfassenderem Maafse,

1) Die mitgetheilten Versuche wurden in dem vom Hrn Professor Magnus zu Berlin geleiteten Laboratorium angestellt.

2) *Annal. de chimie et de physique T. XIII.*

so viel mir wenigstens bekannt, nicht angestellt und eine eingehende Erklärung des Versuches nicht gegeben. Man findet denselben überhaupt, so interessant die Erscheinung ist, nicht häufig erwähnt. Hr. Professor Dove, dessen Beobachtungen sich ja auf fast alle Theile der experimentellen Optik erstrecken, berührt in seiner Abhandlung über Circularpolarisation im 35. Bande dieser Annalen die Biot'sche Entdeckung. Derselbe sagt dort, dafs eine Klangscheibe senkrecht gegen einen polarisirten Lichtstrahl gehalten überall keine Wirkung auf die Polarisation desselben habe: bei longitudinal schwingenden Stäben, die nach Biot auf die Polarisation einen Einflufs haben, habe sich ihm das Kreuz einer eingeschalteten Kalkspathplatte zu öffnen geschienen, — mithin war anscheinend das geradlinig polarisirte Licht in elliptisches übergegangen; bemerkt jedoch dabei, dafs diese Versuche einer Wiederholung mit besserem akustischem Apparat bedürften. Sodann erwähnt Wertheim [1]) des Biot'schen Versuches.

Fragt man sich nun, welche Vorstellung Biot selbst sich von der beobachteten Erscheinung machte, wie derselbe sich die eigenthümliche Doppelbrechung oder depolarisirende Eigenschaft des tönenden Streifens entstanden dachte, so geht aus der citirten Abhandlung ganz klar hervor, dafs Biot meinte, es entstände durch das Tönen in dem Streifen eine eigenthümliche Spannung, die, ähnlich derjenigen durch Druck oder Temperaturveränderung hervorgebrachten, eine ähnliche Doppelbrechung des tönenden Mediums zur Folge habe. Dieser Zustand der Spannung entstehe mit dem Ton, daure während desselben an und erlösche zugleich mit dem Verklingen desselben. Aehnlich scheint man sich auch später den Vorgang vorgestellt zu haben.

Es läfst sich aber durch einen einfachen Versuch zeigen,

1) *Enfin nous devons citer comme l'une des conséquences de la double réfraction artificielle, la dépolarisation apparente découverte par M. Biot que l'on observe pendant les vibrations longitudinales des lames de verre.*

dafs die eigenthümliche bei longitudinal schwingenden Glasstreifen beobachtete Erscheinung nicht durch eine besondere Spannung in dem ganzen Stabe, die durch die Verdichtungen und Verdünnungen in demselben entstände, bedingt ist, dafs dieselbe an irgend einer Stelle nicht einmal etwas Constantes während des Tönens ist, dafs die Erscheinung vielmehr an jeder Stelle des Glasstreifens, wo sie überhaupt beobachtet wird, in jedem Moment eine andere ist, und nur die schnelle Aufeinanderfolge dieses Wechsels läfst uns die Erscheinung für eine continuirliche halten. Denkt man sich nämlich den Versuch so angeordnet, wie Biot ihn angestellt und bringt man nun vor das Spiegelbild des Glasstreifens in dem analysirenden Spiegel ein Diaphragma, so dafs man von dem Spiegelbilde nur einen schmalen zur Länge des Glasstreifens senkrechten Streifen sieht und läfst nun das Licht, welches jedesmal wenn der Glasstreifen ertönt durch das Diaphragma hindurchblitzt, statt direct ins Auge auf einen Metallspiegel fallen, so wird man, so lange der Spiegel ruht, die aufblitzende Lichtlinie in demselben sehen. Dreht man jedoch den Spiegel um seine Axe parallel dem erscheinenden hellen Streifen, so wird man denselben nicht in die Breite gezogen sehen, wie es seyn müfste, wenn der Lichtschein continuirlich wäre, sondern man wird eine Anzahl nebeneinander liegender, der ursprünlichen parallelen Lichtlinien erblicken, die durch dunkle Zwischenräume von einander getrennt sind.

Wie man diesen Versuch am Besten anstellt, soll sogleich angegeben werden, betrachten wir vorerst nur, was aus demselben folgt. Die hellen und dunklen Streifen in dem rotirenden Spiegel zeigen an, dafs die Polarisation des hindurchgegangenen Lichtes nicht constant, sondern nur in bestimmten Intervallen durch den tönenden Glasstreifen afficirt werde, und da die hellen Streifen sehr regelmäfsig neben einander liegen, so mufs auch die Wirkung des Glasstreifens eine regelmäfsig periodische seyn.

Es liegt nun Nichts näher als diese Wirkung in den regelmäfsig auf einander folgenden Verdichtungen und Ver-

dünnungen zu suchen, die der Stab an der beobachteten Stelle während des Tönens erleidet. Und zwar scheint es am sachgemäfsesten und einfachsten, anzunehmen, dafs jeder helle Streifen einer Verdichtung oder Verdünnung an der bestimmten Stelle des Stabes entspreche, denn in diesen Momenten mufs der Stab dort wirklich doppelbrechend seyn, kann also unter gewissen Bedingungen die Polarisation des Lichtes ändern; dafs hingegen jeder dunkle Streifen im Spiegel den Zeitmomenten entspricht, in denen an der beobachteten Stelle weder Verdichtung noch Verdünnung, also auch keine Doppelbrechung stattfindet.

Nachzuweisen, dafs diese Erklärung in der That die richtige und somit die Vorstellung einer eigenthümlichen constanten Spannung oder einer Depolarisation aufzugeben sey, ist der Zweck des Folgenden und zwar wird diefs vollständiger als durch den soeben angeführten Versuch, der freilich immer der entscheidende und interessanteste bleibt, dadurch möglich seyn, dafs gezeigt wird, dafs alle diejenigen Folgerungen, die man *a priori* aus der Betrachtung des mechanischen Vorganges in longitudinal schwingenden Stäben für die optischen Erscheinungen bei denselben ziehen kann, sich in der That experimentell bestätigen.

Ist *AB* (Fig. 1 Taf. III) ein Glasstreifen, der durch Reiben an einem seiner freien Enden oder zwischen *K* und *K'* so ins Tönen gebracht ist, dafs er die Knotenpunkte *K*, *K'*, *K''* hat, so finden bekanntlich die Maxima der Verdichtungen und Verdünnungen an den Stellen *K*, *K'*, *K''* statt, die Minima derselben zwischen zwei dieser Punkte und an den freien Enden; die Theilchen gleiten hier nur her und hin. Gerade an den Enden und genau in der Mitte zwischen den Knotenpunkten finden sogar überhaupt gar keine Verdichtungen und Verdünnungen statt.

Daraus würde also erstens folgen, dafs die Erscheinung des Hellwerdens sich im Maximum in den Knotenpunkten zeigen, dagegen der Stab in der Mitte zwischen zwei Knotenpunkten und an seinen freien Enden stets dunkel bleiben müsse. Dafs der tönende Glasstreifen an seinen En-

den in der That nicht hell erscheine, hat bereits Biot bemerkt, er erklärt sich diese Erscheinung dadurch, dafs er sagt, an den Enden sey keine Spannung mehr vorhanden, dort könnten die Theilchen ihre Bewegung frei gegen die Luft ausführen. Dagegen erwähnt derselbe über die Knotenpunkte Nichts.

Sodann sind bekanntlich bei longitudinal tönenden Stäben in zwei benachbarten Knotenpunkten entgegengesetzte Schwingungsphasen vorhanden. Während in dem einen Knotenpunkt ein Maximum der Verdichtung stattfindet, herrscht in dem andern ein Maximum der Verdünnung. Daraus würde nun zweitens folgen, dafs wenn man einen polarisirten Strahl, nachdem derselbe in dem einen Knotenpunkte durch den tönenden Glasstreifen gegangen, in einem anderen Knotenpunkte noch einmal in umgekehrter Richtung durch den Stab sendete, und dann durch ein Nicol'sches Prisma analysirte, das Gesichtsfeld bei gekreuzten Polarisationsebenen auch beim Tönen des Glasstreifens dunkel bleiben müsse. Die beiden Stellen des Glasstreifens, durch die der Strahl nacheinander gegangen, müssen wie zwei hintereinandergestellte Glaswürfel wirken, von denen der eine ebenso stark comprimirt als der andere in derselben Richtung dilatirt ist. Ebenso wenig wie polarisirtes Licht, welches durch diese hindurchgeht, afficirt wird, ebenso wenig wird der Strahl, bei dem doppelten Durchgang durch zwei benachbarte Knotenpunkte geändert werden können.

Es ist bisher Nichts darüber angegeben, welche Lage der Glasstreifen zu der Polarisationsebene des durchgehenden Lichtes haben mufs, damit das Hellwerden desselben am Besten beobachtet werde, und doch erkennt man bei den Versuchen bald, dafs diese Lage nicht gleichgültig ist. Biot giebt nichts darüber an, welche Stellung bei ihm die Polarisationsebene des auffallenden Lichtes und die Längsrichtung des Streifens zu einander gehabt, und bei welcher er die Erscheinung beobachtet. Da Biot bei seinen Versuchen den Glasstreifen mit der Hand hielt, so ist wohl anzunehmen, dafs die Lage desselben eine sehr wechselnde gewesen,

und wohl nur dieserhalb konnte einem so geübten Beobachter wie Biot es entgehen, dafs der Streifen nur in bestimmten Lagen die Erscheinung mit voller Deutlichkeit zeigt, während man bei anderen Lagen des Streifens dieselbe vergeblich suchen würde. Um den Grund hiervon einzusehen, bedarf es nur folgender Ueberlegung. In dem Moment, in dem in einem bestimmten Theilchen des Stabes eine Verdichtung stattfindet, sind die Elasticitätsverhältnisse dieses Theilchens gegen diejenigen, die bei ruhendem Stabe statt hatten, verändert, und zwar ist die Elasticitätsaxe in der Richtung der Compression, — d. h. in unserem Fall immer in der Richtung der Längsaxe des Glasstreifens — gröfser geworden. Um nun die Elasticitätsfläche des Punktes zu bekommen, ist es nur noch nöthig, in der zur Längsrichtung senkrechten Ebene nach zwei Richtungen die Elasticitätsaxen zu bestimmen. Es leuchtet aber ein, dafs diese Axen, mag man sie in dieser Ebene legen, wie man will, immer unter einander gleich seyn werden, denn durch Compression in der Längsaxe wird in einem Punkt zwar aufser der Elasticität in der Richtung dieser Compression auch diejenige in allen dazu senkrechten Richtungen geändert, aber da der Körper ein homogener, so ist kein Grund vorhanden, weshalb sie in einer Richtung dieser Ebene mehr geändert würde, wie in einer anderen. Die Elasticitätsfläche ist also im Moment einer Compression ein verlängertes Rotationsellipsoïd, dessen Axe in der Längsrichtung des Glasstreifens liegt. Ebenso ist klar, dafs die Elasticitätsfläche eines Theilchens im Moment einer Dilatation ein Rotationsellipsoïd ist, hier aber ein abgeplattetes. Wenn nun in einem Theilchen nach einander Compression und Dilatation stattfinden, so geht dabei die Elasticitätsfläche continuirlich von einem verlängerten Rotationsellipsoïd durch die Form der Kugel in ein abgeplattetes über, und umgekehrt, und bei fortdauerndem Schwingen des Streifens pendelt so zu sagen die Fläche zwischen diesen zwei Gränzformen hin und her. Die Gröfse der Axen der Flächen oder ihre Abweichung von der Kugelgestalt ist dabei durch

das Maximum der Verdichtungen oder Verdünnungen, die an der betrachteten Stelle stattfinden, bedingt.

Läfst man nun also geradlinig polarisirtes Licht senkrecht zur Längsaxe und senkrecht zu den Seiten des Glasstreifens durch denselben hindurchgehen, so verhalten sich während des Tönens alle Theilchen des Stabes wie kleine Krystallplättchen, die parallel zur Axe geschliffen sind und deren Axen alle unter einander und zur Längsrichtung des Streifens parallel sind; nur der Grad der Doppelbrechung dieser Theilchen ist an den verschiedenen Stellen verschieden und wechselt an derselben Stelle sehr schnell in der Zeit.

Fällt aber die Polarisationsebene des Lichtes, welches durch eine parallel der Axe geschliffene Krystallplatte geht, entweder mit der Richtung dieser Axe zusammen, oder steht senkrecht zu derselben, so bleibt bei gekreuzten Polarisationsebenen des Polarisators und Analysators das Krystallplättchen dunkel, dagegen erscheint das Krysallplättchen am deutlichsten hell oder farbig, wenn die Axe des Krystalls im Azimuth 45° zu der Polarisationsebene des auffallenden Lichtes liegt.

Daraus folgt also drittens, dafs wenn die Polarisationsebene des durch den tönenden Glasstreifen hindurchgehenden Lichtes mit der Längsrichtung des Streifens zusammenfällt oder 90° mit derselben macht, der Streifen während des Tönens bei gekreuzten Polarisationsebenen nicht hell erscheinen kann, dafs derselbe jedoch am deutlichsten hell erscheinen wird, wenn die Längsrichtung des Streifens und die Ebene der Polarisation des einfallenden Lichtes unter 45° gegen einander geneigt sind.

Da endlich der Grad der Doppelbrechung an einer bestimmten Stelle continuirlich ab- und zunimmt, so folgt endlich viertens, dafs die Streifen, die man, wie oben gesagt, im rotirenden Spiegel erblickt, farbig erscheinen müssen, und zwar dafs vom Mittelpunkt eines dunkeln Streifens aus nach der Mitte des nächsten hellen die Farben in der Reihe der Farben der neutonischen Ringe mit dunklem Mittelpunkt fortgehen und von der Mitte des hellen

Streifens nach der andern Seite in der umgekehrten Reihenfolge sich zeigen.

Die Versuche nun, die ich anstellte um diese Folgerungen zu prüfen, waren in folgender Weise angeordnet.

Da es nöthig war, ein gröfseres Stück des Stabes auf einmal zu übersehen, so bedurfte es einer gröfseren polarisirten Lichtmenge. Um sie zu erhalten, befand sich auf einem etwa 4 Fufs hohen Stativ eine Gaslampe mit grofsem Argandschen Brenner, die ihre Strahlen durch einen Schirm von geöltem dünnem Seidenpapier sandte. Von den andern drei Seiten war die Lampe mit einem Kasten umgeben, so dafs kein fremdes Licht stören konnte. Das Licht des ziemlich gleichmäfsig hellen Papierschirmes fiel auf einen über einen Quadratfufs grofsen schwarzen Spiegel, wo es so vollständig als möglich polarisirt wurde. Als Analysator diente dann ein etwa 6 bis 8 Fufs entfernt aufgestelltes Nicolsches Prisma.

Durch Drehung des Spiegels und demgemäfse Aenderung der Stellung der Lampe mit ihrem Papierschirm konnte nun die Polarisationsebene des vom Spiegel reflectirten Lichtes jede Lage zur Horizontalebene annehmen, wobei aber die Richtung der reflectirten Strahlen immer dieselbe blieb.

Zwischen den Spiegel und das analysirende Nicolsche Prisma wurde sodann der Glasstreifen immer so gebracht, dafs derselbe mit seiner Längsrichtung horizontal lag und die Strahlen denselben unter rechtem Winkel durchschnitten. Um ihn in dieser Lage zu erhalten und bequem tönen zu lassen, befand sich zwischen Spiegel und Nicolschem Prisma, nahe dem ersteren, ein langer Tisch auf dem ein festes Stativ stand. An diesem war eine Klemme angebracht, d. h. zwei mit Tuch überzogene Stücke Holz, die durch Schrauben zusammengeprefst werden konnten. Zwischen diese wurde der Glasstab an derjenigen Stelle eingeklemmt, die beim Tönen zu einem Knotenpunkt werden sollte. War diefs nicht etwa die Mitte des Stabes, so bedurfte der Glasstreifen noch einer Unterstützung an einem anderem Punkt und derselbe war daher noch in einer andern

Stelle, wo ein Knotenpunkt entstehen sollte, auf ein rundes von einem Stativ getragenes Stück Holz aufgelegt. Ich habe eine ganze Anzahl Glasstreifen untersucht, die von grofsen Spiegelgläsern geschnitten waren und deren Längen etwa zwischen 2 Fufs und 6 Fufs und deren Breiten zwischen $2\frac{1}{2}$ und $\frac{1}{4}$ Zoll schwankten. Die Dicke derselben, durch die das Licht hindurchging, war bei fast allen die eines dicken Spiegelglases, also etwa $\frac{1}{4}$ Zoll. Die Stäbe zeigten an und für sich bei der angewandten Beobachtungsmethode im polarisirten Licht so wenig Farben, dafs diese bei den Versuchen nicht stören konnten. Alle diese Stäbe tönten bei der angegebenen Befestigung sehr leicht und stark, wenn sie an einem freien Ende oder zwischen zwei Knotenpunkten gerieben wurden, mochten sie mit einem, zwei, drei, oder die längsten Streifen selbst mit vier Knotenpunkten schwingen. Das Reiben geschah mit einem dicken, weichen, nicht allzu rauhen Tuch, welches ein Wenig angefeuchtet war.

Um dann verschiedene Stellen des Glasstreifens nach einander zu betrachten, wurde das Stativ mit dem Glasstab auf dem Tisch parallel der Längsrichtung desselben vor dem Spiegel verschoben.

Sollte endlich die Erscheinung im rotirenden Spiegel betrachtet werden, so bediente ich mich eines einfachen Dove'schen Polarisationsapparates. Derselbe wurde so auf den Tisch gestellt, dafs der in der angegebenen Weise befestigte Glasstab horizontal zwischen den beiden Nicols sich befand. Das aus dem, dem Beobachter zugekehrten Nicol austretende Licht wurde durch ein rechtwinkliges Prisma zur Seite gelenkt und fiel dann auf den rotirenden Spiegel. Ich wandte theils einen gröfseren versilberten Glasspiegel, theils einen 20^{mm} im Durchmesser haltenden Stahlspiegel an, die durch ein Uhrwerk mit mäfsiger Geschwindigkeit gedreht wurden. Das aus der dem Beobachter zugewendeten runden Oeffnung des Nicols austretende Licht erschien im Spiegel als heller runder Fleck. Die Versuche konnten auf diese Weise ganz gut ohne weite-

res Diaphragma angestellt werden. Zwischen den vorderen Nicol und Spiegel wurde zuweilen auch noch ein Diaphragma eingeschaltet um eine schärfere Lichtlinie zu erhalten.

Die Resultate der Versuche waren nun:

1. Wenn die Polarisationsebene des vom Spiegel reflectirten Lichtes senkrecht oder horizontal lag, erschien beim Tönen an keiner Stelle des Stabes das aufblitzende Licht, dagegen erschien diefs am deutlichsten, wenn die Polarisationsebene des Lichtes im Azimuth 45° mit der horizontalen Axe des Glasstreifens lag.

2. Führte man, wenn die Polarisationsebene im Azimuth 45° lag, nacheinander alle Stellen des Glasstreifens vor dem Spiegel vorbei, so zeigte sich, dafs aufser an den freien Enden auch zwischen zwei Knotenpunkten schmale senkrechte schwarze Stellen sich befanden, die beim Tönen nie hell wurden. Von ihnen aus nahm nach den Knotenpunkten die Helligkeit zu. Die Fig. 2 Taf. III zeigt die Erscheinung die ein mit drei Knotenpunkten schwingender Stab erkennen läfst.

3. Liefs man das Licht, nachdem es in der Nähe eines Knotenpunktes durch den Glasstreifen gegangen, statt es direct durch den zweiten Nicol gehen zu lassen, von einem unter 45° gestellten Spiegel reflectiren, dann diese Strahlen nach abermaliger Reflexion an einem Spiegel, an einer entsprechenden Stelle eines benachbarten Knotenpunktes durch den Glasstab zurückgehen, und analysirte sie dann durch den Nicol, so wurde das Bild der Strahlen bei ruhendem Stabe zwar nie ganz dunkel, konnte aber durch drehen des analysirenden Nicols bedeutend verdunkelt werden. Ertönte nun der Stab, so änderten die vom zweiten Spiegel reflectirten Strahlen ihre Intensität nicht; liefs man dieselben jedoch statt wieder durch den Glasstreifen hindurch, über denselben hingehen, so blitzen die Strahlen beim jedesmaligen Tönen deutlich auf.

Der Versuch läfst sich nicht leicht schärfer anstellen, als es hier angegeben; so wenig exact er aber auch seyn

mag, so liefs er doch das soeben Gesagte deutlich erkennen.

4. Wurde endlich die Polarisationsebene des einen Nicols des Dove'schen Polarisationsapparates, der, wie oben angegeben, angewandt wurde, unter 45° zur Horizontalebene gedreht und die Polarisationsebene des andern Nicols senkrecht dazu gestellt, und die Erscheinung während des Tönens dann im rotirenden Spiegel betrachtet, so sah man, wie bereits oben gesagt, nicht eine helle Lichtlinie, sondern viele nebeneinander liegende verticale Streifen. Die Fig. 3 Taf. III zeigt die Erscheinung wie man sie bei nicht allzu schnellem Drehen des Spiegels sieht. Läfst man den Spiegel schneller rotiren, so sieht man weniger Streifen, dieselben sind alsdann aber breiter und durch breitere dunkle Zwischenräume von einander getrennt.

Was die Farben dieser Streifen anbetrifft, so zeigten sich wohl zuweilen Farben bei denselben, jedoch ist die Erscheinung zu lichtschwach und zu wenig constant, um Bestimmteres zu erkennen. Die Streifen sind nämlich, wie leicht einzusehen, nicht etwas Constantes, wie etwa Interferenzstreifen, an denen man mit Bequemlichkeit beobachten kann, sondern mit jeder Drehung des Spiegels erscheinen neue Streifen, die sich mit den vorhergehenden durchaus nicht decken; man mufs daher den Spiegel auch nur so schnell rotiren lassen, dafs der Eindruck des einen Streifen bereits im Auge verschwunden ist, wenn die andern auftauchen. Dafs übrigens die Intensität des Tones hinreichend so stark werden kann, dafs wirklich Farben entstehen, geht schon daraus hervor, dafs wenn man nach der ersten Methode den Stab direct zwischen Spiegel und Analysator beobachtet, man sehr häufig ein sehr energisches farbiges Flimmern des Stabes sieht, trotzdem sich hier die entstehenden Farben durch ihr schnelles Aufeinanderfolgen sehr verwischen müssen.

Durch die Versuche sind also die von uns oben gezogenen theoretischen Folgerungen vollständig nachgewiesen, und somit dürfte die obige Erklärung, die wir von

dem Biot'schen Versuch gegeben, als bewiesen anzusehen seyn.

Folgende Versuche, die ich noch angestellt, können ebenfalls zur Bestätigung dienen.

Man bringe in die Klemme, die den einen Glasstab hält, oder in eine zweite passend angebrachte Klemme, einen zweiten Glasstab so an, dafs derselbe dem ersteren parallel liegt, so dafs in Folge dessen das polarisirte Licht, nachdem es durch den ersten Glasstab gegangen, auch noch diesen zweiten durchstrahlen mufs, bevor es zum analysirenden Prisma gelangt. Dann sieht man im rotirenden Spiegel, wenn man einen der beiden Glasstreifen tönen läfst, während der andere in Ruhe ist, die dem tönenden Stabe zugehörigen alternirenden Streifen, liefse man jedoch beide Stäbe zugleich tönen, so ist klar, dafs wenn die beiden Stäbe genau gleiche Schwingungzahlen hätten, es auf den Phasenunterschied der Oscillationen beider Stäbe ankommen würde, ob man dieselben Streifen wie beim Tönen eines einzigen Glasstabes nur mit etwas anderen Farben erblickte; oder alle Streifen zu einer einzigen langen Lichtbinde verschmolzen, oder endlich gar kein Licht sehe.

Das Erste wäre der Fall, wenn gar kein Phasenunterschied vorhanden wäre, das Zweite, wenn derselbe $\frac{1}{4}$ oder $\frac{3}{4}$ einer ganzen Schwingung betrüge, das Dritte, wenn er gleich $\frac{1}{2}$ Schwingung wäre. Haben aber die Stäbe keine gleiche Schwingungszahl, so treten alle Phasenunterschiede nacheinander auf, und man wird daher beim Tönen der beiden Glasstäbe im Spiegel eine sehr complicirte Erscheinung sehen, die je nach dem Verhältnifs der Schwingungszahlen beider Glasstäbe eine sehr verschiedene seyn mufs. Es ist eben die durch die beiden continuirlich wechselnden Doppelbrechungen bedingte Interferenzerscheinung.

Sodann schaltete ich, wie Hr. Professor Dove gethan, eine Kalkspathplatte zwischen den Glasstreifen und Analysator ein. Bei geringer Intensität des Tones verwischte sich das Bild derselben, bei sehr starker verschwand das Ringsystem fast ganz. Das Licht, welches aus dem Glasstab austritt, ist nämlich nacheinander geradlinig, elliptisch und

vielleicht selbst circular polarisirt. Diefs würde schon genügen um das Bild der Kalkspathplatte sehr zu verwischen, dazu kommt aber noch, dafs wenn diefs Licht in dem Moment einer Verdichtung rechts elliptisch oder circular ist, es in dem entsprechenden Moment der Verdünnung links elliptisch oder circular seyn mufs. Hierdurch wird noch um so mehr das Ringsystem der Kalkspathplatte verwischt. Aus demselben Grunde wird die Farbe eines eingeschalteten Gypsblättchens verwischt.

Man ist bisher geneigt gewesen anzunehmen, dafs nur bei longitudinal tönenden Streifen durch die Schwingungen Doppelbrechung hervorgebracht werde; es zeigen jedoch auch transversal schwingende Glasstäbe ganz ähnliche Polarisationserscheinungen; ich will kurz die mit transversal tönenden Stäben von mir angestellten Versuche mittheilen.

Um einen langen Glasstreifen gut transversal tönen zu lassen, mufste derselbe auf eine andere Weise als durch eine Klemme horizontal befestigt werden. Es befand sich zu dem Ende oberhalb des Tisches eine starke Holzleiste. An dieser hing mittelst starker Fäden die in den Knotenpunkten um denselben geschlungen waren, der Glasstreifen. Wurde derselbe nun noch in einem der Knotenpunkte lose mit den Fingern gehalten, und an dem freien Ende mit einem Bogen angestrichen, so ertönte derselbe sehr gut.

Geschah das Anstreichen horizontal, d. h. so, dafs die Aus- und Einbiegungen zwischen zwei Knotenpunkten in die Richtung der durchgehenden Lichtstrahlen fielen, so zeigte der in oben angegebener Weise vor dem schwarzen Spiegel befindliche Glasstreifen, durch das analysirende Nicolsche Prisma betrachtet, in keiner Weise Helligkeit. Wurde jedoch der Glasstreifen vertical angestrichen, so dafs die Ein- und Ausbiegungen senkrecht zu den durchgehenden Strahlen waren, so zeigte sich derselbe während des Tönens stark doppelbrechend. Ein mit drei Knotenpunkten schwingender Stab zeigte, wenn man ihn allmählich vor dem Spiegel vorbeiführte, die in Fig. 4 Taf. III dargestellte Erscheinung, wo K, K', K'' die Stellen der Knotenpunkte bezeichnen. Es zeigte sich übrigens die Erscheinung wie-

der im Maximum, wenn die Polarisationsebene des vom schwarzen Spiegel reflectirten Lichtes 45° mit der Horizontalebene machte. Man sieht aus der Figur, dafs, abgesehen von dem schwarzen Streifen, der der Längsaxe des Glasstabes parallel ist, sich die Figur von derjenigen beim longitudinalen Tönen dadurch unterscheidet, dafs es hier gerade die Knotenpunkte sind, die dunkel bleiben, während zwischen den Knotenpunkten ein Maximum der Helligkeit stattfindet; gerade das Umgekehrte fand beim longitudinalen Tönen statt.

Zur Erklärung der Entstehung unserer Figur ist es nur nöthig einen einzigen Moment einer Schwingung die der Stab ausführt zu fixiren und genauer zu betrachten. Fixiren wir den Moment, wo die halbe Welle zwischen *K* und *K'* (Fig. 1 Taf. III) ihre gröfste Ausbiegung nach unten hat, so ist in demselben Moment das freie Ende bei *K* nach oben gebogen, *K'*, *K''* nach oben im Maximum seines Wellenberges, das freie Ende bei *K''* nach unten gebogen. Der Stab hat somit die Form wie in Fig. 5 Taf. III.

Durch diese Ausbiegungen müssen nun Spannungen entstehen, die Erscheinungen der Doppelbrechung zur Folge haben. Diese Spannungen müssen zwischen zwei Knotenpunkten aber dieselben seyn, wie bei einem Stabe der mit seinen beiden Enden befestigt, in der Mitte durch ein Gewicht herunter- oder heraufgezogen, oder durch Pressen durchgebogen ist. Die Erscheinung die bei solcher Durchbiegung stattfindet, ist bereits von Brewster und Neumann aufs Sorgfältigste experimentell und theoretisch untersucht. Ein durchgebogener Glasstreifen zeigt in der Mitte seiner Breite einen schwarzen Streifen, der den Längskanten des Stabes parallel läuft, und oberhalb und unterhalb desselben treten mit immer stärkerer Biegung immer mehr Farben der Neutonischen Scale auf. Der mittlere schwarze Streif, der sich nach den Enden hin erweitert und an den Enden selbst die ganze Breite des Glasstreifens einnimmt, entsteht bekanntlich dadurch, dafs an der concaven Seite Compression an der convexen Dilatation

stattfindet, die allmählich in einander übergehend, in der Mitte eine neutrale Zone bilden. In dem von uns fixirten Moment der Schwingung des Glasstreifens würden also die Stücke *KK'* und *K'K''* die angegebene Erscheinung zeigen müssen. Dabei ist nur zu bemerken, dafs, da in *K'* die erweiterten neutralen Zonen zusammenstofsen, sich hier ein etwas breiterer verticaler schwarze Streif bilden mufs.

Die freien Enden werden nicht genau die Erscheinung einer Hälfte des durchgebogenen Theiles *KK'* zeigen, sondern die Figur die ein an einem Ende befestigter Glasstab zeigt, der an dem andern freien Ende durch ein Gewicht heruntergezogen wird. Auch diese Form der Spannung ist bereits untersucht, dieselbe ergiebt ebenfalls eine neutrale Zone, die sich an der Befestigungsstelle ziemlich schnell nach dem freien Ende hin langsam erweitert.

In dem angedeuteten Moment der Schwingung mufs also der Glasstreifen seiner ganzen Länge nach eine schwarze Linie zeigen, die in den Knotenpunkten von etwas breiteren schwarzen Streifen senkrecht durchschnitten ist. Aufserdem müssen die freien Enden dunkel seyn. Die anderen Theile des Stabes müssen farbig, oder wenn die Doppelbrechung nicht sehr stark, bei gekreuzten Polarisationsebenen des Polarisators und Analysators, einfach hell erscheinen. Dabei sind alle Theile, die zwischen der schwarzen Längslinie und der concaven Seite des Glases liegen, durch Compression, die zwischen jener Linie und der convexen durch Dilatation doppelbrechend.

Fixirt man jetzt den Moment der Schwingung, der sich von dem vorher betrachteten genau um eine halbe Schwingung unterscheidet, so finden alle Ausbiegungen nach der entgegengesetzten Seite wie in der Figur statt. Der Erfolg ist, dafs in diesem Moment der Stab genau dasselbe Bild zeigen mufs, wie oben, nur mit dem Unterschiede, dafs da wo vorher Doppelbrechung durch Compression statthatte, sie nun durch Dilatation hervorgebracht wird, und umgekehrt. Genau in der Mitte zwischen den fixirten Momenten ist der Stab ganz in Ruhe, kann also keine Dop-

pelbrechung zeigen. Bei jeder Lage des Stabes aber zwischen dieser Ruhelage und den andern fixirten Lagen des Maximums der Ausbiegungen, wird der Glasstreifen immer dasselbe Bild zeigen, nur werden, da die Doppelbrechung mit dem Grade der Ausbiegung zunimmt, die auftretenden Farben und die Deutlichkeit mit der sich die ganze Erscheinung zeigt, verschieden seyn. Von einem Maximum der Ausbiegung mufs bis zur Ruhelage die Deutlichkeit und die Farben der Figur abnehmen, in der Ruhelage selbst sieht das Auge Nichts, und von dieser Lage zum Maximum der entgegengesetzten Ausbiegung nimmt die Erscheinung wieder zu. Tönt nun der Stab, so wiederholt sich dieses Spiel mit jeder Schwingung; da aber die Ausbiegungen im Verhältnifs zu den Dimensionen des Glasstabes sehr kleine Gröfsen sind, da ferner immer dasselbe Bild auftritt, in dem nur etwa die Farben wechseln, so legen sich für unser Auge diese Bilder übereinander und wir erblicken das constante Bild des tönenden Stabes, wie es in Fig. 4 Taf. III gezeichnet ist. Diefs Bild erklärt sich somit vollständig aus den Biegungen der einzelnen Theile des Stabes beim Schwingen.

Es bleibt nun nur noch zu beweisen, dafs diefs Bild in der That Nichts Constantes, sondern eine intermittirende Erscheinung ist. Der Versuch wird leicht auf dieselbe Weise angestellt wie bei den longitudinal tönenden Stäben. Das kleine Bündel polarisirten Lichtes, welches wir dort in der Nähe eines Knotenpunktes durch den tönenden Stab gehen liefsen, läfst man jetzt zwischen zwei Knotenpunkten, entweder oberhalb oder unterhalb der neutralen Zone, durch den Glasstreifen gehen. Sodann betrachtet man den leuchtenden Punkt, oder die leuchtende Linie, die von diesem Strahlenbündel gebildet wird, im rotirenden Spiegel. Man sieht dann ebenso wie bei longitudinal tönenden Glasstäben, eine Reihe heller und dunkler Streifen die hier nur bei gleicher Drehungsgeschwindigkeit des Spiegels sehr viel entfernter von einander liegen, da die transversalen Töne im Allgemeinen so sehr viel tiefer sind als die longitudi-

nalen. Will man die Streifen näher bei einander liegend erblicken, so mufs man die Rotation des Spiegels verlangsamen.

Sodann kann man endlich auch bei den transversal tönenden Stäben noch die Einzelheiten die oben bei longitudinalem Schwingen angegeben sind, beobachten. Es mufs erstens, da die Axen der Compression und Dilatation auch beim transversalen Durchbiegen immer sehr nahe in der Richtung der Längsaxe des Stabes liegen, das Bild, welches der transversal schwingende Stab zeigt, im Maximum der Deutlichkeit auftreten, wenn die Polarisationsebene des auffallenden Lichtes im Azimuth 45° zur Längsrichtung des Stabes liegt. Ferner mufs aus denselben Gründen wie oben, da Compression und Dilatation an derselben Stelle des Stabes aufeinander folgen, das Bild einer eingeschalteten Kalkspathplatte sich verwischen. Da endlich beim transversalen Schwingen Compression und Dilatation oberhalb und unterhalb der neutralen Zone sich entsprechen, so mufs, wenn man ein Bündel Licht, welches unterhalb der neutralen Zone hindurchgegangen, oberhalb derselben wieder zurückschickt, beim Tönen kein Aufblitzen stattfinden.

Es sind somit die Erscheinungen der Doppelbrechung die bei longitudinal und transversal tönenden Glasstreifen auftreten vollständig durch die mechanischen Vorgänge, die während des Tönens stattfinden, erklärt. Bewunderungswürdig bleibt dabei nur, dafs uns das Licht also nicht blofs, wie bekannt, über die geringste Elasticitätsveränderung eines durchsichtigen Mediums Aufschlufs giebt, sondern auch noch einen periodischen Wechsel der Elasticität, selbst wenn derselbe über tausendfach in einer einzigen Sekunde ist, mit gleicher Genauigkeit anzeigt.

Es lag nahe, aus dem Versuch mit dem rotirenden Spiegel eine Methode zur Bestimmung der Schwingungszahlen longitudinal oder transversal schwingender Stäbe zu schaffen, und in der That kann man bei gegebener Drehungsgeschwindigkeit des Spiegels durch Zählen der Streifen zwischen zwei gegebenen Objecten, etwa zwei Fäden eines

Fernrohrs, annähernd die Schwingungszahl eines Glasstabes bestimmen, doch überzeugte ich mich bald, und liegt es in der Natur der Sache, dafs diese Methode, anderen bekannten nicht an Genauigkeit gleich kommt, und dürfte dieselbe deshalb eine wirkliche Anwendung wohl nicht finden.

III. *Ueber ein System von geradlinigen Fransen, welche gleichzeitig mit den Newtonschen Ringen zu beobachten sind;*
von S. M. van der Willigen.

(Aus d. *Verslagen en Mededeeln d. Afd. Natuurk. Dl. XVII*, vom Hrn. Verf. mitgetheilt.)

Sieht man unter einer großen Neigung auf die Gläser, eine recht ebene Glasplatte und eine biconvexe Linse, zwischen welchen die Newton'schen Ringe sich bilden, so gewahrt man leicht, sowohl im Tageslicht als im Licht des gesalzenen Alkohols, wenigstens zwei Ringsysteme, welche einander kreuzen. Das eine System ist das gewöhnliche primäre; das andere will ich das secundäre nennen, weil es durch doppelte Reflexion eines zweiten primären entsteht. Aufser diesen beiden Ringsystemen beobachtet man noch mehre, fast geradlinige und parallele Fransen, mit farbigen Säumen im Tageslicht versehen. Diese Fransen haben eine transversale Richtung auf den Gläsern, d. h. eine winkelrechte auf der lothrechten Ebene, die man sich durch den einfallenden Strahl und das Auge des Beobachters gelegt denken kann. Man erblickt sie besonders leicht gegen die Ränder der Linse hin, rechts und links von den Ringen, convergirend in dem Maafse als sie sich diesen Rändern nähern, wohlverstanden, wenn die biconvexe Linse oben liegt. Bemerken will ich, dafs man, um sie gut zu unterscheiden, sich so stellen mufs, dafs das drei Mal reflec-

tirte und vergröfserte Bild der Flamme, des Fensters oder im Allgemeinen der Lichtquelle links oder rechts vom Centrum der Gläser erblickt wird.

Manchmal schon hatten diese Fransen meine Aufmerksamkeit erregt, ohne dafs ich wufste sie mir genau zu erklären. Und dennoch ist die Erklärung, welche ich seitdem gefunden, ziemlich einfach und bietet sich natürlich dar, wenn man den Weg der Strahlen, die durch Reflexion und Theilung irgend eines einfallenden Strahls entstehen, verfolgt. Nachdem ich ihre Entstehungsweise festgestellt, war ich begierig zu wissen, ob Jemand sie vor mir wahrgenommen, und siehe da, ich fand im N. Gehler'schen Wörterbuch, dafs sie schon i. J. 1815 von John Knox beobachtet wurden [1]).

In der That, in einer Abhandluug voller interessanter Untersuchungen über die Ringsysteme, die sich zwischen zwei oder drei auf einander gelegten Gläsern bilden, erwähnt er auch dieser geradlinigen Fransen, welche er indefs beschreibt, ohne ihren Ursprung nachzuweisen. Er sagt, alle diese Erscheinungen mit Hülfe der Karte oder des Schirms von William Herschel entdeckt zu haben, doch dient dieser Schirm bei seinen Versuchen nur dazu, das drei Mal reflectirte Bild der Flamme oder der Fensterscheiben leichter zu finden.

Die Erklärung dieser Fransen, deren Richtigkeit aus der Messung der gegenseitigen Abstände derselben hervorgeht, ist folgende. Sey CD (Fig. 6 Taf. III) die Glasplatte, EF die darauf gelegte biconvexe Linse und G der Berührungspunkt. Der einfallende Strahl Aa, nachdem er durch die Linse gegangen, theilt sich bei b in zwei Theile, von denen der eine bc sogleich reflectirt wird, während der andere die Glasplatte in b' trifft, bevor er in der Richtung $b'c'$ zurückgeworfen wird; bc wird abermals in c reflectirt, längs cd, und erreicht die Platte in e, wo er nach ef reflectirt wird; der Theil $b'd'$ endlich reflectirt sich nach $c'd'$ und wiederum nach $d'f$. Somit haben wir als Resultat zwei

1) *Phil. Transact. of the Roy. Soc.* 1815 *p.* 161 *etc.*

austretende Strahlen, ef und $d'f$, welche, bis auf Gröfsen zweiter Ordnung coïncidiren und bei ihrem Austritt aus dem Glase parallel sind. Diese beiden Strahlen, welche aus dem einzigen Strahl Aa entspringen und längs fB zu dem in B befindlichen Auge gehen, haben in dem convexen Glase und der Luftschicht respective die Wege $abcdef$ und $abb'c'd'f$ zurückgelegt; da nun diese Wege nicht genau dieselbe Länge haben, so können sie zu Interferenzphänomenen Anlafs geben. Aufser dem Weg-Unterschied der aus der ungleichen Dicke der Luftschichten in b' und in e hervorgeht, mufs man noch Rücksicht nehmen auf einen andern Unterschied, der aus der Krümmung der obern Fläche des convexen Glases und der nothwendig daraus folgenden Abnahme in der Dicke dieses Glases entspringt; man darf auch nicht die Veränderung in der Neigung der reflectirten Strahlen vernachlässigen, die ebenfalls aus dieser Krümmung hervorgeht.

Fig. 7 Taf. III stellt den innern Gang der Strahlen in gröfserem Maafsstabe dar; die beiden Strahlen finden sich hier mehr aus einander, damit man sie besser unterscheiden könne. Ich nenne r den Krümmungshalbmesser der Linsenfläche EHF; R den von EGF; f die Brennweite der Linse; D die Dicke HG im Mittelpunkt; K die Dicke an einem andern Punkt e; den Abstand Ge oder $\alpha\gamma$ des Mittelpunkts vom Punkt e, wo der Strahl cd von der Glasplatte reflectirt wird, werde ich x nennen. Sey A der Winkel, welche die in f austretenden oder in e reflectirten Strahlen in der Luft mit der Normalen des ebenen Glases bilden z. B. der Winkel, den de mit der Normale in e bildet; und α der entsprechende Winkel des in dem Glase gebrochenen Strahls mit dessen Normale, z. B. der Winkel, den cd mit der Normale bildet.

Bezeichnen wir die Dicke der Luftschicht in b' durch u und die in e durch u'; sey endlich n der Brechungsindex des angewandten Glases.

Setzen wir, der gröfseren Leichtigkeit wegen, voraus, das Licht folge dem umgekehrten Weg von f nach b, so

ist klar, dafs der Winkel *abh* nicht mehr gleich ist dem Winkel in *d*, welchen wir *a* genannt haben, und zwar wegen der Reflexion, welche in *c* gegen die obere, ziemlich stark gekrümmte Fläche der Linse stattfindet. Bei dieser Reflexion ist der Winkel von *cb* mit der Verticale gewachsen und folglich auch der von *ab* mit seiner Normale *bh*. Dieser Winkel erlangt einen Werth gleich

$$a + \frac{2(x - K\operatorname{tg} a)}{r},$$

weil der Abstand des Punktes *c* von *GH* gleich ist: $x - K\operatorname{tg} a$ und $\frac{1}{R}$ gegen $\frac{1}{r}$ vernachlässigt werden kann, was bei unseren Versuchen vollkommen erlaubt ist.

Die Tangente dieses Winkels in dem Glase wird also für den Radius *bc* gleich:

$$\operatorname{tg} a + \frac{2(x - K\operatorname{tg} a)}{r\cos^2 a}$$

und folglich wird der Unterschied von *x* für die Punkte *b* und *d*, oder *b'* und *e* gleich seyn

$$2K\left(\operatorname{tg} a + \frac{(x - K\operatorname{tg} a)}{r\cos^2 a}\right).$$

Die Veränderung von *a* bedingt die des Winkels *A* am Punkt *b*, dessen Cosinus wird

$$\cos A - 2n\operatorname{tg} A\cos a\frac{x - K\operatorname{tg} a}{r}.$$

Aus Mangel an Contact der beiden Gläser, ist in *G* eine Luftschicht vorhanden, deren Dicke, die ich *U* nennen will, sich jedes Mal durch Messung der Farbenringe bestimmen läfst. Der in *e* durch die Luftschicht erzeugte Weg-Unterschied wird also seyn:

$$2u\cos A = \left(\frac{x^2}{R} + 2U\right)\cos A,$$

und der in *b'* erzeugte:

$$2u'\left(\cos A - 2n\,\mathrm{tg}\,A\cos a\,\frac{x-K\mathrm{tg}\,a}{r}\right)$$

$$=\left\{\frac{\left[x-2K\left(\mathrm{tg}\,a+\frac{x-K\mathrm{tg}\,a}{r\cos^2 a}\right)\right]^2}{R}+2U\right\}\left(\cos A - 2n\,\mathrm{tg}\,A\cos a\,\frac{x-K\mathrm{tg}\,a}{r}\right)$$

Dieser zweite, aus dem ersten abgeleitete Unterschied giebt den relativen Verlust unserer beiden Strahlen, welchen man den durchlaufenden Luftschichten zuschreiben mufs. Allein aufserdem sind die Längen dieser beiden Strahlen in der Linse nicht mehr gleich: cd ist länger als $c'd'$, und bc länger als der, welcher in c' ausläuft. Diese beiden Linienpaare können als parallel betrachtet werden. Der Weg bcd hat gegen den andern einen Ueberschufs, der, wenn man ihn mit dem Brechungsindex n multiplicirt, um ihn auf Luft als Medium zu reduciren, ausgedrückt wird durch:

$$2n\frac{(x-K\mathrm{tg}\,a)^2}{R}\cdot\frac{x-K\mathrm{tg}\,a}{\cos a}\left(\frac{1}{R}+\frac{1}{r}\right)\mathrm{tg}\,A + 4nU\mathrm{tg}\,A\,\frac{x-K\mathrm{tg}\,a}{\cos a}\left(\frac{1}{R}+\frac{1}{r}\right)$$

oder, wenn wiederum $\frac{1}{R}$ gegen $\frac{1}{r}$ vernachlässigt wird,

$$\frac{2n(x-K\mathrm{tg}\,a)^3}{Rr\cos a}\mathrm{tg}\,A + 4nU\mathrm{tg}\,A\,\frac{x-K\mathrm{tg}\,a}{r\cos a}.$$

Der Werth von K in diesen Formeln bezieht sich streng auf den Punkt c.

Der gesammte Weg-Unterschied für unsere beiden Strahlen $bcdef$ und $bb'c'd'f$, welchen ich W nennen will, und welcher den Ueberschufs des ersten über den zweiten am Austrittspunkt f giebt, wird, reducirt auf Luft als Medium seyn:

$$W=\left(\frac{x^2}{R}+2U\right)\cos A-\left\{\frac{\left[x-2K\left(\mathrm{tg}\,a+\frac{x-K\mathrm{tg}\,a}{r^2\cos a}\right)\right]^2}{R}+2U\right\}\times$$
$$\left(\cos A-2n\,\mathrm{tg}\,A\cos a\,\frac{x-K\mathrm{tg}\,a}{r}\right)+\frac{2n(x-K\mathrm{tg}\,a)^3}{Rr\cos a}\mathrm{tg}\,A$$
$$+4nU\mathrm{tg}\,A\,\frac{x-K\mathrm{tg}\,A}{r\cos a}\qquad\text{(I)}$$

Entfernen wir zunächst aus dieser Formel die Glieder $\frac{x^2}{R}\cos A$ und $-\frac{x^2}{R}\cos A$, welche einander aufheben, so kommt:

$$W = 2U\cos A$$

$$+\left\{\frac{4K\left(\operatorname{tg} a + \frac{x - K\operatorname{tg} a}{r\cos^2 a}\right)x - 4K^2\left(\operatorname{tg} a + \frac{x - K\operatorname{tg} a}{r\,\mathrm{sos}^2 a}\right)^2}{R} + 2U\right\} \times$$

$$\left(\cos A - 2n\operatorname{tg} A\cos a\frac{x - K\operatorname{tg} a}{r}\right) + x^2\, 2n\operatorname{tg} A\cos a\frac{x - K\operatorname{tg} a}{Rr}$$

$$+ 2n\frac{(x\,.\,K\operatorname{tg} a)^3}{Rr\cos a}\operatorname{tg} A + 4nU\operatorname{tg} A\frac{x - K\operatorname{tg} a}{r\cos a} \quad \text{(II).}$$

Vernachlässigen wir die Producte so wie die Potenzen der Correctionen von $\operatorname{tg} a$ und $\cos A$, so vereinfachen wir die Formel möglichst.

Bei unseren Versuchen hatte r einen Werth von etwa 100 Centm. und R einen Werth von unter 5000 Centm.; mithin ist r^2 gleich 10000, d. h. mehr als doppelt so grofs wie R. Gegen die durch r dividirten Glieder haben wir die durch R dividirten vernachlässigt, um so mehr ist es also erlaubt, die Glieder zu vernachlässigen in deren Nenner sich r zur zweiten Potenz erhebt.

Folglich hat man:

$$W = 4\frac{K\operatorname{tg} a}{R}x\cos A + 4\frac{K\cos A}{R}\,.\,\frac{x - K\operatorname{tg} a}{r\cos^2 a}x$$

$$- 8n\frac{K\operatorname{tg} a\,.\operatorname{tg} A\cos a}{R} \times \frac{x - K\operatorname{tg} a}{r}\,.\,x - 4\frac{K^2\operatorname{tg}^2 a}{R}\cos A$$

$$+ 8n\frac{K^2\operatorname{tg}^2 a}{R}\operatorname{tg} A\,.\cos a \times \frac{x - K\operatorname{tg} a}{r} - 8\frac{K^2\operatorname{tg} a}{R} \times \frac{x - K\operatorname{tg} a}{r\cos^2 a}\,.\cos A$$

$$+ nU\operatorname{tg} A\,.\,\cos a\frac{x - K\operatorname{tg} a}{r} + 2nx^2\operatorname{tg} A\cos a\frac{x - K\operatorname{tg} a}{Rr}$$

$$+ 2n\frac{(x - K\operatorname{tg} a)^3}{Rr\cos a}\operatorname{tg} A + 4nU\operatorname{tg} A\frac{x - K\operatorname{tg} a}{r\cos a} \quad .\ .\ .\ . \quad \text{(III).}$$

Diese, schon wenig verwickelte Formel reducirt sich noch mehr, wenn man die Glieder vereint, welche gemeinschaftliche Factoren haben. Man kann paarweise das erste und vierte Glied, das zweite und sechste, das dritte und fünfte vereinen; diefs giebt

$$W = 4\frac{K\operatorname{tg}a(x - K\operatorname{tg}a)}{R}\cos A + 4\frac{K(x - K\operatorname{tg}a)(x - 2K\operatorname{tg}a)}{Rr\cos^2 a}\cos A$$
$$- 8n\frac{K\operatorname{tg}a(x - K\operatorname{tg}a)^2}{Rr}\operatorname{tg}A\cos a + 2n\frac{x^2(x - K\operatorname{tg}a)}{Rr}\operatorname{tg}A\cos a$$
$$+ 4nU\frac{x - K\operatorname{tg}a}{r}\operatorname{tg}A\cos a + 2n\frac{(x - K\operatorname{tg}a)^3}{Rr\cos a}.\operatorname{tg}A$$
$$+ 4nU\frac{x - K\operatorname{tg}x}{r\cos A}\operatorname{tg}A \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \text{(IV)}.$$

Das vierte Glied dieser Formel läfst sich noch auf das dritte reduciren und die Glieder in U können mit R multiplicirt und dividirt werden, um überall R im Nenner zu haben. Dann erhält man:

$$W = 4\frac{K\operatorname{tg}a(x - K\operatorname{tg}a)}{R}\cos A + 4\frac{K(x - K\operatorname{tg}a)(x - 2K\operatorname{tg}a)}{Rr\cos^2 a}\cos A$$
$$+ 2n\frac{(x - 2K\operatorname{tg}a)^2(x - U\operatorname{tg}a)}{Rr}\operatorname{tg}A\cos a + 2n\frac{(x - K\operatorname{tg}a)^3}{Rr\cos a}\operatorname{tg}A$$
$$+ 4nUR\frac{x - K\operatorname{tg}a}{Rr}\operatorname{tg}A\cos a + 4nUR\frac{x - K\operatorname{tg}a}{Rr\cos a}\operatorname{tg}A \quad \text{(V)}.$$

Ich hätte diese Formel auch auf eine andere Weise erhalten können; allein ich glaube, dafs das obige Verfahren ziemlich fördersam und leicht zu verfolgen ist, weshalb ich es beibehalte.

Zieht man den gemeinschaftlichen Factor $\frac{1}{R}$ heraus, so schreibt sich die Formel wie folgt:

$$W = \frac{1}{R}\Big\{ 4K\operatorname{tg}a(x - K\operatorname{tg}a)\cos A$$
$$+ 4\frac{K(x - K\operatorname{tg}a)(x - 2K\operatorname{tg}a)}{r\cos^2 a}\cos A$$
$$+ 2n\frac{(x - 2K\operatorname{tg}a)^2(x - K\operatorname{tg}a)}{r}\operatorname{tg}A\cos a$$
$$+ 2n\frac{(x - K\operatorname{tg}a)^3\operatorname{tg}A}{r\cos a} + 4nUR\frac{x - K\operatorname{tg}a}{r}\operatorname{tg}A\cos a$$
$$+ 4nUR\frac{x - K\operatorname{tg}a}{r\cos a}\operatorname{tg}A\Big\} = \frac{Z}{R} \quad \ldots\ldots \quad \text{(VI)}.$$

Unter dieser Form will ich daraus eine andere ableiten, welche den Werth einer Gröfse giebt, die sich leicht messen läfst. Die Fransen bilden Linien, die einem Durchmesser der Linse fast parallel sind, und es ist deren gegen-

seitiger Abstand in einer bestimmten Entfernung vom Centrum, welchen ich im Auge habe. Der Abstand zweier aufeinanderfolgender Minima dieser Fransen bestimmt sich, wenn man den Weg-Unterschied W um einen Werth gleich einer ganzen Undulation λ wachsen läfst. Gesetzt nämlich W sey differentiirt in Bezug auf x und der Anwuchs von W sey gleich λ, so wird der Anwuchs von x den Abstand zweier auf einanderfolgender Minima geben, gemessen in Richtung F (Fig. 7 Taf. III) d. h. winkelrecht gegen die Fransen.

Differentiiren wir also das zweite Glied von (VI) in der Voraussetzung, diese Anwüchse seyen unendlich klein, oder vielmehr mit Vernachlässigung der zweiten Differenzen, so haben wir:

$$\lambda = \frac{\delta W}{\delta x}\delta x = \frac{\delta Z}{R\delta x} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad \text{(VII)}$$

oder

$$\delta x = R\lambda \frac{1}{\frac{\delta Z}{\delta x}} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad \text{(VIII)}$$

für den gegenseitigen Abstand der Fransen.

Die Gröfsen A und a und ebenso K hängen, wegen der festen Lage des Auges, von x ab. Sey O die Höhe des Auges über der oberen Fläche der Linse, d. h. der Perpendikel, gefällt vom Auge auf die Horizontalebene, welche man sich durch f (Fig. 7) vorgestellt denken kann, und P der Abstand des Fufses dieses Perpendikels vom Punkte f, so hat man:

$$\operatorname{tg} A \doteq \frac{P}{O}; \; K \text{ wird } = D - \frac{x^2}{2r}$$

wenn man abermals $\frac{1}{R}$ gegen $\frac{1}{r}$ vernachlässigt. Substituirt man diese Werthe in unserer Formel, so wird sie beträchtlich lang, unvermeidliche Folge davon, dafs die Linse obenauf liegt.

Wir haben x von a gegen F gezählt, folglich werden wir haben:

$$\frac{\delta \operatorname{tg} A}{\delta x} = -\frac{1}{O};\ \frac{\delta A}{\delta x} = -\frac{\cos^2 A}{O};\ \frac{\delta \cos A}{\delta x} = \frac{\sin A \cos^2 A}{O}$$

$$\frac{\delta \sin A}{\delta x} = -\frac{\cos^3 A}{O};\ \frac{\delta \sin a}{\delta x} = -\frac{\cos^3 A}{nO}$$

$$\frac{\delta \cos a}{\delta x} = \frac{\sin a \cos^3 A}{nO \cos a} = \frac{\operatorname{tg} a \cos^3 A}{nO};\ \frac{\delta \operatorname{tg} a}{\delta x} = -\frac{\cos^3 A}{nO \cos^3 a}$$

und endlich

$$\frac{\delta K}{\delta x} = -\frac{x}{r}.$$

Die Differentiation von (VI) führt zu einer langen Reihe von Gliedern; um sie abzukürzen unterdrücke ich zunächst alle die Glieder, welche r^2 im Nenner enthalten. Mit den Gliedern, worin sich rO im Nenner befindet, bedarf es mehr Behutsamkeit, weil O bei meinen Versuchen nur der dritte oder vierte Theil von r ist; deshalb habe ich diese Glieder beibehalten. Ich werde nun sectionsweise die Glieder hinschreiben, die durch Differentiation der successiven Glieder von W erhalten werden, dabei die Ordnung einhaltend, dafs ich in jeder Section erst x, darauf K, dann $\cos a$ und $\operatorname{tg} A$ und endlich $\operatorname{tg} a$ und $\cos a$ differentiire. Die Glieder in $\frac{1}{r^2}$ sind von jetzt an fortgelassen; was die anderen betrifft, die nur einen kleinen Werth haben, so werden wir später sehen, dafs man sie vernachlässigen kann. So verfahrend fand ich:

$$\frac{\delta Z}{\delta x} = \frac{\delta W}{\delta x} R = 4 K \operatorname{tg} a \cos A - 4 \frac{x(x - 2K\operatorname{tg} a)}{r} \operatorname{tg} a \cos A$$

$$+ 4 \frac{K(x - K\operatorname{tg} a)}{O} \operatorname{tg} a \sin A \cos^3 A - 4 \frac{K(x - 2K\operatorname{tg} a)}{nO\cos^3 a} \cos^4 A \ldots$$

$$+ 4 \frac{K(2x - 3K\operatorname{tg} a)}{r\cos^2 a} \cos A + 4 \frac{K(x - K\operatorname{tg} a)(x - 2K\operatorname{tg} a)}{rO\cos^2 a} \sin A \cos^2 A$$

$$+ 4 \frac{K^2(3x - 4K\operatorname{tg} a)}{rnO\cos^5 a} \cos^4 A$$

$$- 8 \frac{K(x - K\operatorname{tg} a)(x - 2K\operatorname{tg} a)}{rnO\cos^3 a} \operatorname{tg} a \cos^4 A \ldots$$

$$+ 2n \frac{(x - 2K\operatorname{tg} a)(3x - 4K\operatorname{tg} a)}{r} \cos a \operatorname{tg} A$$

$$- 2n \frac{(x - 2K\operatorname{tg} a)^2(x - K\operatorname{tg} a)}{rO} \cos a$$

$$+ 2 \frac{(5x - 6K\operatorname{tg} a)(x - K\operatorname{tg} a)}{3O\cos^2 a} \cos^3 A \operatorname{tg} A$$

$$+ 2 \frac{(x - 2K\operatorname{tg} a)^2(x - K\operatorname{tg} a)}{rO} \operatorname{tg} a \cos^3 A \operatorname{tg} A$$

$$+ 6n \frac{(x - K\operatorname{tg} a)^2}{r\cos a} \operatorname{tg} A - 2n \frac{(x - K\operatorname{tg} a)^3}{rO\cos a}$$

$$+ 6 \frac{K(x - K\operatorname{tg} a)^2}{3O\cos^4 a} \cos^3 A \operatorname{tg} A - 2 \frac{(x - K\operatorname{tg} a)^3}{3O\cos^2 a} \operatorname{tg} a \cos^3 A \operatorname{tg} A \ldots$$

$$+ 4n \frac{RU}{r} \cos a \operatorname{tg} A - 4n \frac{RU(x - K\operatorname{tg} a)}{rO} \cos a$$

$$+ 4 \frac{KRU}{rO\cos^2 a} \cos^3 A \operatorname{tg} A + 4 \frac{RU(x - K\operatorname{tg} a)}{rO} \operatorname{tg} a \cos^3 A \operatorname{tg} A \ldots$$

$$+ 4n \frac{RU}{r\cos a} \operatorname{tg} A - 4n \frac{RU(x - K\operatorname{tg} a)}{rO\cos a} + 4 \frac{KRU}{rO\cos^4 a} \cos^3 A \operatorname{tg} A$$

$$- 4 \frac{RU(x - K\operatorname{tg} a)\operatorname{tg} a}{rO\cos^2 a} \cos^3 A \operatorname{tg} A \quad \ldots\ldots \quad (IX).$$

Im Ganzen 24 Glieder. Von allen Gliedern, welche aus der Differentiation von K hervorgehen, habe ich nur dasjenige aufgenommen, welches von dem ersten Gliede der Formel (VI) herkommt, weil dieses das einzige ist, welches keine Potenz von r im Nenner enthält. Die Glieder, welche U als gemeinschaftlichen Factor enthalten, können gewöhnlich vernachlässigt werden, weil man im Stande ist, einen genügenden Contact im Mittelpunkt der Gläser herzustellen.

Auch die Glieder 7, 8, 12 und 16 können vernachläs-

sigt werden, weil sie von derselben Gröfsenordnung sind wie die, welche r^2 im Nenner enthalten haben würden.

Jetzt will ich einige Versuche beschreiben, welche angestellt wurden, um die Formel (IX) zu prüfen. Das wird die Wahrheit meiner Erklärung bezeugen.

Die von mir angewandte Linse hat im Centro eine Dicke $D = 4{,}85$ Mllm. und am Umfang eine von 4 Mllm.; ihr Durchmesser beträgt 8,6 Centm. Ihre Brennweite f ist $= 199{,}6$ Centm. und ihren Brechungsindex schätze ich auf $n = 1{,}53$. Die Messung der beim Licht der monochromatischen Lampe beobachteten Ringe, welche immer meine Messungen der Fransen vervollständigte, gab im Mittel $R = 4855{,}0$ Centm.; nach der Formel

$$\frac{1}{f} = \frac{n-1}{R} + \frac{n-1}{r} \text{ oder } f = \frac{R}{(n-1)(R+r)}$$

folgt daraus $r = 108{,}1$ Centm.

Am 26. Aug. 1860 mafs ich bei der monochromatischen Lampe den gegenseitigen Abstand der Fransen in der Stellung des Auges, welche Fig. 7 Taf. III voraussetzt. In der Fig. 8 Taf. III ist die relative Lage der Lampe, des Auges und der Gläser folgendermafsen vorgestellt: *abcd* bezeichnet die obere Fläche der Linse, *O* ist die Projection des Auges auf deren Ebene und *B* die der Lampe; die gemessenen Minima sieht man z. B. in *e* und sind dem Durchmesser *bd* parallel. Zuvörderst bestimmte ich den gegenseitigen Abstand der Fransen in der Richtung *Ma* auf dem Glase; alsdann, nachdem ich den Gläsern eine Azimutalbewegung von successive 180°, 90° und 270° gegeben und dabei dem Auge und der Lampe ihre absoluten Lagen gelassen, mafs ich ihn in den Richtungen *Mc*, *Mb* und *Ma* mit der Vorsorge, dafs der Contact der Gläser unverändert blieb. Aus diesen vier Beobachtungen nahm ich das Mittel. Statt den gegenseitigen Abstand zweier nebeneinanderliegender Minima zu messen, nahm ich nun den Abstand zweier Minima, welche sich in dem vierfachen Abstand befanden, so dafs sich noch drei Minima mehr oder weniger gleich vertheilt zwischen ihnen befanden. Das Viertel die-

ses Abstandes nahm ich für den Abstand zweier benachbarten Minima. Der in das Protokoll der Beobachtungen eingetragene Werth von P oder Oe bezieht sich auf den Abstand zwischen O und dem Punkt e, genommen in der Mitte zwischen diesen beiden extremen Minimis.

Aus den Angaben der Beobachtung berechnete ich δx nach den Formeln (VIII) und (IX), d. h.

$$\delta x = R\lambda \frac{1}{\frac{dZ}{\delta x}}.$$

Dieser Werth mufs mit dem gemessenen Abstand coïncidiren. Die folgende Tafel giebt die Resultate. Alle kleinen Angaben wurden direct mit dem Zirkel aufgenommen und auf ein in 0,4 Mllm. getheiltes Doppel-Decimeter übertragen.

O	P	X	K	Ktg$a$	x	$4N$	N	δx	Diff.
27,0	26,3	1,7	0,475	0,25	1,45	1,180	0,295	0,293	0,002
27,0	25,8	2,2	0,467	0,24	1,96	0,996	0,249	0,255	− 0,006
27,0	25,0	3,1	0,441	0,22	2,88	0,792	0,198	0,196	0,004
29,0	22,0	1,6	0,476	0,20	1,40	1,192	0,298	0,331	− 0,033
29,0	21,1	2,4	0,462	0,19	2,21	1,028	0,257	0,271	− 0,014
29,0	20,4	3,1	0,446	0,18	2,92	0,788	0,197	0,205	− 0,008
29,2	9,5	3,3	0,437	0,09	3,21	1,320	0,330	0,368	− 0,039
								Total	− 0,093

Alle Angaben in dieser Tafel sind Centimeter.

Der Werth von λ in den Berechnungen ist genommen gleich 5888 Zehntausendstel eines Millimeters für das Licht des gesalzenen Alkohols; es ist nach Fraunhofer der Werth für den Strich D. Die beiden ersten Columnen geben die Coordinaten des Auges, bezogen als Anfang auf den Punkt, wo sich die Minima befinden. Die dritte Columne enthält die Abscisse X des Punktes f, gezählt vom Punkte a (Fig. 7 Taf. III). Die vierte: die Dicke K der Linse an dem Ort dieser Fransen im Punkt c oder e; die fünfte: das Product Ktg$a$ des Werthes von K in den von tg$a$ erhalten von O und P; die sechste: die Abscisse des Punktes e, welche man findet, wenn man von X die Werthe

der vorgehenden Columne abzieht; die siebente: das Vierfache von N, directes Resultat unserer Messungen; die achte: den Abstand N zweier Fransen-Minima, erhalten durch Division der Zahlen der siebenten Columne durch 4; die neunte: diesen Abstand, berechnet mit Hülfe der Formeln (VIII) und (IX) unter Anwendung der genannten, durch die Beobachtungen gegebenen Gröſsen; und die letzte: den Unterschied zwischen Beobachtung und Rechnung.

Die zu meiner Verfügung stehenden Mittel verbürgten mir lange nicht die erforderliche Genauigkeit in der Bestimmung der sehr kleinen Abstände der Minima, lieſsen mich vielmehr in relativ sehr groſse Fehler verfallen, denen ich zum Theil die bei verschiedenen Richtungen der Linse beobachteten beträchtlichen Unterschiede zuschreiben will.

Ich enthalte mich noch mehr Beobachtungen anzuführen, hoffend daſs diese, ungeachtet der nicht zu leugnenden Abweichung zwischen Beobachtung und Rechnung, dem Leser genügend erscheinen werden, die Richtigkeit der aufgestellten Erklärung zu beweisen.

Auſser den Gliedern 18, 19, 20, 22, 23 und 24 der Formel (IX) habe ich keins bei meinen Rechnungen ausgeschlossen, um einen möglichst genauen Werth zu erhalten. Man kann daher die Divergenz zwischen Beobachtung und Rechnung in keiner Weise einem Mangel an Strenge von dieser Seite her zuschreiben. Die in der Entwicklung (II) vernachlässigten Glieder sind in dieser Beziehung nicht mehr einer Bürgschaft unterworfen.

Der Werth von U wurde für diese Rechnungen aus den Newton'schen Ringen abgeleitet; er fand sich gleich 0,0000426 Mllm. Ich nahm diesen Werth für alle angeführten Beobachtungen, voraussetzend, daſs die Gläser keine relative Verschiebung während der Versuche erlitten hätten, was wohl zulässig war, da ich die gröſste Sorgfalt darauf verwandt hatte, daſs die Linse sich nicht auf der Glasplatte verschob oder verrückte.

Die discutirten Beobachtungen beziehen sich, wie gesagt, auf die etwa beim Punkt e liegenden Fransen, vorausge-

setzt das Auge befinde sich in dem in O (Fig. 8 Taf. III) errichteten Perpendikel. Beim Lichte der monochromatischen Lampe und mit einer auf das Glas gelegten biconvexen Linse entdeckt man die Minima leicht; allein bei Tageslicht sieht man im Allgemeinen keine Fransen in einem so gelegenen Punkt auf der Linse. Jedoch eignen sich die in Fig. 7 dargestellten Umstände, welche die Basis meiner allgemeinen Formel (IX) ausmachen, am leichtesten zur Discussion des in Rede stehenden Phänomens, hinreichender Grund, für mich, es vorzugsweise auf diese Weise zu betrachten.

Knox hat, wie mir scheint, die Fransen nicht an so gelegenen Punkten beobachtet; auch mir zeigte sich das Problem anfangs auf eine andere Weise; als die Fransen zuerst meine Aufmerksamkeit auf sich zogen, sah ich sie anderwärts.

Die Knox'schen Fransen, mit welchen ich meine Untersuchungen anfing, und welche der Leser zweifelohne auch oft gesehen hat, liegen so, wie ich oben gesagt habe; sie finden sich an Punkten wie f und g (Fig. 9 Taf. III) zu beiden Seiten und erstrecken sich noch in einer dem transversalen Durchmesser parallelen Richtung, vorausgesetzt immer, O sey die Projection des Auges und B die der Lampe. Zu ihrer Discussion versetzt man sich unter Umstände, wie sie Fig. 7 darstellt, mit der Abänderung, dafs die normale Ebene durch ac (Fig. 9) ersetzt wird durch eine normale Ebene parallel mit ac, z. B. durch f gehend, woraus folgt, dafs die Linse in diesem Punkt, den man man nun statt G nehmen mufs, nicht mehr das Glas berührt, so dafs U in der Formel (IX) einen bedeutenden und immer mehr wachsenden Werth haben wird, in dem Maafse als sich die Punkte f und g den Rändern der Linse nähern.

Ich werde nun y als Ordinate längs Mb in die Formel einführen, und den neuen Werth von U' durch $\frac{y^2}{2R}+U$ ersetzen, wo U immer, wie zuvor, den Mangel des Contacts der beiden Gläser im Centro ausdrückt. Ueberdiefs

werde ich $x = 0$ nehmen, wie wir es zu thun haben für die Fransen die dicht am transversalen Durchmesser vorbeigehen. Ich werde endlich die sehr kleine Verringerung von r und R vernachlässigen, obwohl man sie streng genommen in Rechnung ziehen müfste, weil sie nicht mehr Radien eines gröfsten Kreises sind, sondern eines Parallels, der von dem Centrum der Kugel, welche sie repräsentiren, sehr wenig entfernt ist. So transformirt, wird die Formel (IX):

$$\frac{\delta Z}{\delta x} = \frac{\delta W}{\delta x} R = 4 K \operatorname{tg} a \cos A - 4 \frac{K^2 \operatorname{tg}^2 a}{O} \sin A \cos^2 A$$

$$+ 8 \frac{K^2 \operatorname{tg} a}{n O \cos^3 a} \cos^4 A \ldots - 12 \frac{K^2 \operatorname{tg} a}{r \operatorname{co}^2 a} \cos A$$

$$+ 8 \frac{K^3 \operatorname{tg}^2 a}{r O \cos^2 a} \sin A \cos^2 A - \frac{14 K^3 \operatorname{tg} a}{r n O \cos^5 a} \cos^4 A$$

$$+ 16 \frac{K^3 \operatorname{tg}^3 a}{r n O \cos^3 a} \cos^4 A \ldots + 16 n \frac{K^2 \operatorname{tg}^2 a}{r} \cos a \operatorname{tg} A$$

$$+ 8 n \frac{K^3 \operatorname{tg}^3 a}{r O} \cos - 12 \frac{K^2 \operatorname{tg}^2 a}{r O \cos^2 a} \cos^3 A \operatorname{tg} A$$

$$- 8 \frac{K^3 \operatorname{tg}^4 a}{r O} \cos^3 A \operatorname{tg} A \ldots + 6 n \frac{K^2 \operatorname{tg}^2 a}{r \cos a} \operatorname{tg} A$$

$$+ 2 n \frac{K^3 \operatorname{tg}^3 a}{r O \cos a} + 6 \frac{K^3 \operatorname{tg}^2 a}{r O \cos^4 a} \cos^3 A \operatorname{tg} A$$

$$+ 2 \frac{K^3 \operatorname{tg}^4 a}{r O \cos^2 a} \cos^3 A \operatorname{tg} A \ldots + 2 n \frac{(y^2 + 2 R U)}{r} \cos a \operatorname{tg} A$$

$$+ 2 n \frac{(y^2 + 2 R U) K \operatorname{tg} a}{r O} \cos a + 2 \frac{K (y^2 + 2 R U)}{r O \cos^2 a} \cos^2 A \operatorname{tg} A$$

$$- 2 \frac{(y^2 + 2 R U) K \operatorname{tg}^2 a}{r C} \cos^3 A \operatorname{tg} A \ldots + 2 n \frac{(y^2 + 2 R U)}{r \cos a} \operatorname{tg} A$$

$$+ 2 n \frac{(y^2 + 2 R U) K \operatorname{tg} a}{r O \cos a} + 2 \frac{K (y^2 + 2 R U)}{r O \cos 4 u} \cos^3 A \operatorname{tg} A$$

$$+ 2 \frac{(y^2 + 2 R U) K \operatorname{tg}^2 a}{r O \cos^2 a} \cos^3 A \operatorname{tg} A \quad \ldots \ldots \quad (\mathrm{X}).$$

Von einem möglichst constantem Gesichtspunkt aus, mafs ich am 14. August 1860 bei den links und rechts gleich weit vom Centrum der Linse liegenden Punkten f und g den gegenseitigen Abstand der Fransen; dann vertauschte ich die Durchmesser ac und bd durch eine azi-

mutale Drehung der Gläser um 90° und mafs abermals genau auf dieselbe Weise. Ich machte jede Messung vier Mal, so dafs bei der Berechnung des Mittels aus den Werthen, die in den vier unter sich rechtwinkligen Richtungen erhalten wurden, das Resultat auf sechszehn Beobachtungen beruhte. Ich bestimmte den Abstand der beiden ersten, dann der zweiten und dritten Minima diefs- und jenseits des transversalen Durchmessers. Die Zahlen finden sich in der folgenden Tafel vereint; in dem Maafse als die Krümmung der Fransen schwächer ward und ein mehr oder weniger vollkommner Parallelismus sich einzustellen schien, nahm ich für den Abstand der beiden centralen Fransen das Mittel aus drei und selbst aus fünf auf angegebene Weise gemessenen Abständen.

P	O	y	L	$L \operatorname{tg} a$	nN	N	δx	Diff.
26,5	32,0	1	0,480	0,22	1,153	0,384	0,392	— 0,08
26,5	32,0	1,5	0,475	0,22	1,074	0,358	0,367	— 0,09
26,5	32,0	2	0,467	0,21	1,006	0,335	0,336	— 0,001
26,5	32,0	3	0,443	0,20	1,419	0,284	0,271	+ 0,013
26,5	32,0	3,5	0,428	0,20	1,297	0,259	0,241	+ 0,012
							Total	+ 0,013

y bedeutet die schon genannte Ordinate; L ist nichts anderes als K in den Formeln; N ist der gemessene Abstand, δx der berechnete; nN bedeutet den von den Beobachtungen gelieferten Werth, er ist zuweilen der gegenseitige Abstand der zweiten Minima diefs- und jenseits des transversalen Durchmessers und zuweilen der der dritten. Durch Vergleichung der Zahlen dieser Columne mit denen der folgenden, ersieht man zunächst, ob n den Werth drei oder fünf hat. Die übrigen Columnen sind schon bekannt.

Die Uebereinstimmung zwischen Beobachtung und Rechnung ist ziemlich genügend, wenn man die totale Summe der Differenzen befragt. Die negativen Abweichungen für die kleineren Werthe von y rühren davon her, dafs die Krümmung der Fransen desto merklicher ist als diese dem Centro näher liegen, was für den Werth des Abstandes

der ersten Minima diefs- und jenseits des transversalen Durchmessers etwas mehr giebt als das Drittel des Abstandes der zweiten Minima. Der Werth von U für diese Beobachtungen ist 0,0000122 Mllm.

Für etwas beträchtliche Werthe des Winkels A oder a bieten die Tafeln eine genügende Uebereinstimmung zwischen Beobachtung und Rechnung dar und beweisen die Richtigkeit der Formeln, allein für kleinere Werthe von A fürchte ich, dafs die Formeln immer mangelhafter werden. Verlangte man genauere Formeln, so müfste man, scheint mir, darauf Rücksicht nehmen, dafs das Licht (Fig. 9 Taf. III) welches, nachdem es eine dreifache Reflexion erlitten hat, von k gegen das Auge des Beobachters geht, zum ersten Male an einem gewissen Punkte h reflectirt worden ist, der so liegt, dafs hi gleich ki sey, bis auf die Correctionen. Der Winkel lih wäre $\frac{2\sqrt{y^2+x^2}}{r \sin a}$. Der Winkel der beiden Flächen der Linse im Punkt i und in der Richtung ih würde sich leicht berechnen, indem man die Linie ih verlängerte und das Perpendikel Mp fällte, welche den Punkt p der gröfsten Dicke der Linse in dieser Richtung gäbe. Dieser Winkel wäre also $\frac{ip}{r}$.

Allein unsere Fransen sind weder leicht zu beobachten noch zu messen, wenn das Auge eine Lage hätte, wo A kleiner wäre. Ich halte mich also an die aufgestellten Formeln, jedoch mit der Beschränkung, dafs A nicht klein sey.

Ich will nun die Fransen ruhen lassen, so weit sie mit der obenauf gelegten biconvexen Linse beobachtet werden. Die Rechnungen sind noch einer grofsen Vereinfachung fähig. Wenn r unendlich ist, so sind die Glieder 1, 3 und 4 der Formel (IX) die einzigen, die bleiben; alle übrigen verschwinden. Allein zur Verwirklichung dieses Falls mufs die Glasplatte auf die Linse gelegt werden. Das Bild der Flamme indefs, welches man durch die immer nothwendige dreifache Reflexion erhält, ist dann genau gleich dem Bilde, welches durch die erste Reflexion erzeugt wird, wor-

aus eine vollkommne Coïncidenz der beiden Bilder entsteht. Dazu kommt die wegen Schwäche des Lichts erforderliche Nähe der Flamme, welche macht, dafs eine Bewegung des Auges rechts oder links nichts hilft, um ein das gesuchte Bild überragendes Stück zu erblicken. In diesem für die Rechnung so einfachen Falle ist also die Beobachtung und um so mehr die Messung der geradlinigen Fransen beim Lichte des gesalzenen Alkohols unmöglich. Diefs hindert jedoch nicht, in diesem Falle Fransen von derselben Natur, die dem Durchmesser *bd* fast parallel sind, in Punkten wie *f* und *g* (Fig. 9 Taf. III) zu beobachten. Diese Fransen sind indefs anderer Art, als die man suchte. Sie entstehen auf die in Fig. 10 Taf. III abgebildete Weise und rühren von den durchgelassenen Ringen her, wie die bisher betrachteten Fransen aus den zurückgeworfenen Ringen entspringen. Man gewahrt leicht ein sehr helles und vergröfsertes Bild der Flamme, welches durch innere Reflexion an der concaven Fläche *EHF* erzeugt wird; diefs übertrifft an Intensität um Vieles dasjenige, welches ich bei meinen ersten Beobachtungen sah, weil es etwas weniger vergröfsert ist, besonders aber weil es zum gröfseren Theil seinen Ursprung Strahlen verdankt, die nur eine einfache Reflexion erlitten haben. Daher auch das veränderte Ansehen der Minima dieser Fransen, welche wie noch ziemlich helle Striche das Netz der beiden Ringsysteme durchziehen, so dafs scheint, man habe ein Phänomen von ganz anderer Natur vor sich.

Für diese anderen Fransen ist an unserer Formel (IX) durchaus nichts zu ändern; nur erlaube ich mir hier nicht mehr die Gröfse x in meinen Rechnungen zu vernachlässigen, obgleich die beobachteten Fransen dem Fall der zweiten Tafel entsprechen. Ich bin dazu gezwungen durch die Betrachtung, dafs der Werth von N, den man mittelst Division der angegebenen Werthe von $3N$ und $5N$ durch 3 usw. erhält, nicht mehr genau $x=0$ entsprechen kann, was mich vermuthen läfst, dafs die grofsen Abweichungen zwischen Beobachtung und Rechnung in der erwähnten Tafel

wohl zum Theil dieser etwas willkührlichen Annahme zugeschrieben werden könnten. Um x aus X durch Subtraction von $E \operatorname{tg} a$ abzuleiten, mufs man E, die Dicke des Glases, kennen, welche ich $= 9{,}2$ Mllm. fand.

Ich will nur eine Beobachtung vom 16. Aug. 1860 anführen. Die übrigen mufste ich verwerfen, weil sie, trotz, der vom Calcül angezeigten Rectification, so ungeheure Abweichungen gaben, dafs ich sie einerseits den Unvollkommenheiten des Glases und andrerseits den Fehlern in der Neigung A zuschreiben mufste, zu welchen letzteren oft eine Bewegung des Kopfes und die wenig genaue Art die Lage desselben zu bestimmen Veranlassung gaben. Ein Fehler in der Neigung aber kann sehr bedeutende in dem berechneten Werthe von δx herbeiführen, wie sein Einflufs sich gewifs schon in den vorhergehenden Tafeln bemerklich macht.

O	P	y	X	$E \operatorname{tg} a$	x	$L \operatorname{tg} a$	$6N$	N	δx	Diff.
31,5	20,0	2,0	0,55	0,34	0,21	0,17	2,204	0,367	0,390	− 0,023

Im Tageslicht experimentirend stellte ich mich drei oder vier Meter von dem halbgeöffneten Fensterladen auf und betrachtete die Gläser unter grofser Neigung; während die Glasplatte den Obertheil des Paares bildete, bewegte ich den Kopf nach der Rechten oder Linken, so dafs ich einen Theil beobachtete, der das von der inneren Reflexion an der oberen Fläche des Glases entstehende Bild überrandete. Auf diese Weise entdeckte ich Ueberreste von Fransen, die von dieser Reflexion herrühren und die überdiefs durch ihren vollständigen Parallelismus vollkommen erkennbar sind, Allein wie wenig ich auch die Lage meines Kopfes änderte, stiefs ich doch wieder auf die von den durchgelassenen Ringen herrührenden Fransen, welche die ganze Oberfläche des Glases in der Umgegend des Durchmessers bd einnahmen.

Die Glieder 1, 5, 9, 17 und 21 der Formel (IX) sind

vorwaltend in der Rechnung; ersetzt man demnach U, wie ich es schon in der Formel (X) gethan, so erhält man eine Gleichung von dieser Form:

$$\frac{\delta W}{\delta x} R = A + Bx + Cx^2 + Dy^2$$

in welcher, wenn man nach einer rohen Schätzung für meine Beobachtungen $A = 25\,B = 30\,C = 15\,D$ nähme, sich eine leidlich richtige Idee von dem relativen Werth der Coëfficienten machen würde.

Gleichergestalt ließe die Formel (V) sich so schreiben:

$$W = \alpha + \beta x + \gamma x^2 + \delta x^3 + (\varepsilon x + \zeta) y^2$$

oder, wenn man die aus unseren Beobachtungen gezogenen approximativen Werthe substituirt:

$$W = (n - 0{,}5)\lambda = -\mu + 5\mu x + 0{,}2\mu x^2 + 0{,}5\mu x^3 + (0{,}6\mu x - 0{,}15) y^2 \qquad \text{(XI)}$$

wo μ statt $\frac{4K^2 \operatorname{tg} a}{R} \cos A$ gesetzt ist. Daraus folgt, daſs β fünf Mal so groſs ist als α, daſs γ, δ, ε höchstens drei Viertel und ζ nur ein Siebentel desselben ist; n ist die Ordnungszahl des beobachteten Minimums. Diese Curve repräsentirt nun im Allgemeinen die Form unserer Fransen; geht man von der einen zur andern über, so muſs man W um λ vergröſsern. Ist y sehr groſs gegen x, so giebt sie Rechenschaft von den fast geradlinigen Fransen, welche gegen die Axe der y, d. h. gegen den Durchmesser bd convergiren. Ist dagegen x groſs in Bezug auf y, wenn auch in geringerem Grade, so giebt sie gerade Linien parallel der Axe der y; wenn endlich weder das eine noch das andere sehr klein ist, jedoch y zwei oder drei Mal gröſser als x, so hat sie viele Aehnlichkeit mit dem oberen Zweige einer Conchoïde, die bd zur Directrix hat.

In der That erwägen wir zunächst, daſs wenn x klein gegen y ist, die Formel wird:

$$W = \alpha + \beta x + (\varepsilon x + \zeta) y^2$$

was giebt

$$x = \frac{W - \alpha - \zeta y^2}{\beta + \varepsilon y^2} \quad \ldots\ldots \quad \text{(XII).}$$

Die Abscisse wird also desto kleiner, je gröſsere Werthe

man der Ordinate y beilegt, und unsere Fransen in den Punkten f und g sind folglich gerade Linien, welche sich desto mehr dem Durchmesser ba nähern, je entfernter f und g vom Centrum liegen.

Wenn x und y ein solches Gröfsenverhältnifs haben, dafs das Glied $(\varepsilon x + \zeta)y^2$ vernachlässigt werden kann, so hat man

$$W = \alpha + \beta x$$

was in der Umgegend von e (Fig. 8 Taf. III) gerade und parallele Linien giebt.

Alle Glieder beibehalten, ist unsere Formel:

$$W = \alpha + \beta x + \gamma x^2 + \delta x^3 + (\varepsilon x + \zeta)y^2$$

während die Gleichung der Conchoïde, die bd zur Axe der y und zur Directrix, so wie ca zur Axe der x hat, sich schreibt:

$$x^2 y^2 = (a + x)^2 (b^2 - x^2)$$

oder reducirt:

$$x^2 y^2 = a^2 b^2 - a^2 x^2 + 2ab^2 x - 2ax^2 + b^2 x^2 - x^4$$

oder, wenn man, den Anfangspunkt verlegend, x durch $x + c$ ersetzt:

$$(x + c)^2 y^2 = (a + c + x)^2 [b^2 - (x + c)^2]$$

und wiederum reducirt:

$$\begin{aligned}(x^2 + 2cx + c^2)y^2 = {} & (a + c)^2 b^2 + (a + c)^2 c^2 \\ & + b^2 - 2(a + c) b^2 x - 2(a + c) c^2 x - 2(a + c)^2 cx \\ & + [b^2 (a + c)^2]x^2 - 4(a + c) cx^2 - 2(a + c)x^3 \\ & - 2cx^3 - x^4.\end{aligned}$$

Kurz die Gleichung der Conchoïde nimmt die Form an:

$$(x^2 + 2cx + c^2)y^2 = N + Mx + Ox^2 + Px^3 + x^4$$

und wenn man x^2 in dem Factor von y^2, so wie x^4 im zweiten Theile vernachlässigt:

$$(2cx + c^2)y^2 = N + Mx + Ox^2 + Px^3$$

ein Ausdruck, welcher durch seine Aehnlichkeit mit unserer Formel, die Aehnlichkeit der Fransen, die man in einer mittleren Richtung zwischen Ma und Mb (Fig. 8 Taf. III) ziemlich nahe beim Centrum beobachtet, mit den Conchoïden erklärt.

Aufser dem Licht des Tages und dem des gesalzenen

Alkohols wandte ich noch das einer Kerze zur Beobachtung der Fransen an. Diefs ist vielleicht die beste Lichtquelle, um die Fransen noch leidlich gefärbt zu sehen und sie zugleich unter kleinem Neigungswinkel zu erblicken, was ihren gegenseitigen Abstand sehr vergröfsert. Bei diesem Kerzenlichte und indem ich meine Gläser unter einer kleinen Neigung, möglichst der Verticale nahe, betrachtete, gewahrte ich noch ein System von dichter zusammenliegenden Minimis, solchergestalt, dafs sich drei Minima dieses neuen Systems auf einem schwarzen Streifen des ersten Systems zeigten. Ich habe mich nicht weiter mit demselben beschäftigt. Es ist bei einem so zusammengesetzten Lichte wie das einer Kerzenflamme zu schwierig diese Fransen zu erkennen, und andrerseits ist kein Zweifel, dafs sie sich durch eine noch verwickeltere Reflexion des einfallenden Lichtes erklären lassen.

Knox hat sehr oft beim Lichte einer gewöhnlichen Lampe beobachtet und daher sah er immer die Fransen gefärbt. Die Beobachtung ist leichter als beim Tageslicht. Beim Lesen der Knox'schen Abhandlung erkennt man bald, dafs er ein Glas auf eine concav-convexe Linse legte [1]). Er entdeckte solchergestalt die Fransen, welche durch Reflexion des primären Ringsystems gegen die obere Fläche des Glases erzeugt werden, und der Versuch mufste ihm bei Anwendung einer Lampe leicht gelingen. Man sieht also, dafs sich das Phänomen *ab initio* dem Knox unter der einfachsten Form darbot, während es sich mir unter der verwickeltsten Gestalt zeigte. Knox fand die Fransen strenge geradlinig, in voller Uebereinstimmung mit unserer Formel (V), aus der alle Glieder bis auf das erste verschwinden, sobald r unendlich wird. Ich dagegen beobachtete mit meiner oben aufgelegten biconvexen Linse krumme und gegen die Ränder convergirende Fransen, welche die Berechnung aller Glieder der Formeln (V) und (IX) erforderten. Das Gelingen des Knox'schen Versuchs schreibe ich vor Allem dem Umstand zu, dafs kein vergröfsertes

1) A. a. O. S. 63 u. ff.

Bild (was mir immer hinderlich war), seine Versuche störte, weil die untere Fläche seiner Linse concav, und überdiefs durch eine vollständige Schwärzung des gröfseren Theils ihres Reflexionsvermögens beraubt war; auch hatte er den Vortheil, dafs das von ihm angewandte Glas von geringerer Dicke war.

Endlich bleibt noch eine dritte Modification unserer Fransen übrig, diejenige, wo, bei einer obenauf gelegten concav-convexen Linse, der Werth von r in den Formeln (V) und (IX) negativ wird. Unter der mir zu Gebote stehenden Sammlung von Linsen, fand ich eine concav-convexe, die ganz gut anwendbar war. Ich legte sie, mit der concaven Seite nach oben, auf eine Glasplatte und erblickte diese dritte Form von Fransen sogleich bei Tageslicht. Man kann also nach Belieben unter diesen drei Fällen wählen. Die obere ebene Fläche giebt geradlinige Fransen, die convexe: krumme, gegen die Ränder convergirende Fransen, und die concave: krumme, gegen die Ränder divergirende Fransen, gemäfs der Formel, in welcher r negativ genommen ist, wodurch die Coëfficienten der Glieder in y^2 in (V) und (XII) das Zeichen wechseln. Mit dieser concav-convexen Linse gelang die Knox'sche Beobachtung auch mir bei obenauf gelegtem Glase, vorausgesetzt jedoch, dafs ich eins von nur einem oder höchstens anderthalb Millimeter Dicke wählte, weil sonst die Fransen zu dicht lagen, um wohl gesehen werden zu können.

Diese concav-convexe Linse, die schlecht geschliffen zu seyn schien, gab mir zu der Bemerkung Anlafs, dafs unsere Fransen, wohl zur Controle ihrer Flächen dienen könnten. Die Krümmung der Fransen zeigte nämlich in einer gewissen Richtung Anomalien, die nur aus einem Mangel des Schliffes wenigstens einer der mitwirkenden Flächen herrühren konnten. Sehr kleine und selbst unbedeutende Fehler, sey es in der Reinigung oder im Contact oder in Unvollkommenheit der Krümmung der Gläser verrathen sich sogleich durch eine Modification oder Unregelmäfsigkeit unserer Fransen.

Es ist auch Knox, welcher auseinandersetzt, wie diese

Fransen vorkommen in den Durchschneidungen der Ringe eines ersten Systems mit einem andern, in welchen es eingreift, und besonders in den Durchschneidungen der hellen Ringe des ersten Systems mit den hellen des zweiten und der dunklen des ersten mit den dunklen des zweiten. Man mufs diefs von den Maximis verstehen, d. h. von hellen Fransen mit farbigen Streifen. Unsere Minima dagegen finden sich an den Durchschnittspunkten der dunklen Ringe des ersten Systems mit den hellen des zweiten, und umgekehrt; daher das gezahnte Ansehen, welches sie zeigen, besonders näher am Mittelpunkt der Gläser. Die Minima erfordern eine ungerade, die Maxima eine gerade Anzahl von halben Undulationen zum Unterschied für die interferirenden Strahlen wie für die einander kreuzenden Ringe. Die Bemerkung also, durch welche Knox ihre Lage bestimmt, ist eine unmittelbare und ganz natürliche Folgerung aus unserer Theorie.

Deventer, 8. August 1863.

IV. *Neue Methode, den Brechungsindex von Flüssigkeiten zu messen; von Ch. Montigny.*

(Aus d. *Bull. de l'acad. roy. de Belgique Ser. II, T. XVIII* vom Hrn. Verf. übersandt.)

Die Wirkung der Gase und Flüssigkeiten auf das sie durchdringende Licht hängt nur von der Natur dieser Substanzen ab, weil der Einflufs der Structur sich im flüssigen Zustande, eliminirt findet; es ist daher nützlich die Beobachtungsmittel zu vervielfältigen, welche gestatten die Wirkungsweise der flüssigen und gasigen Substanzen auf das Licht zu studiren. Aus diesem Grunde beehre ich mich, der Akademie eine Methode zur Messung der Lichtbrechung der Flüssigkeiten vorzulegen, welche ich für neu halte.

Das Verfahren hat zunächst den Vorzug, dafs es den Lichtstrahl aus der *freien* Oberfläche der Flüssigkeit in die

Luft übertreten läfst, d. h. ohne ihn zu zwingen, durchsichtige Seitenwände eines Gefäfses, welches die Flüssigkeit enthält, zu durchdringen, wie das der Fall ist bei der gewöhnlichen, zuerst von Biot angewandten Methode des *Flaschen-Prismas* [1]), so wie bei dem Verfahren des *Refractometers* der HH. F. Bernard und Pichot, welches auf dem Phänomen der Seitenverschiebung beruht. Man weifs aber, wie schwer es hält sich Gläser mit vollkommen parallelen Flächen zu verschaffen, die zu beiden Methoden nothwendig sind. Zwar kann man bei mangelndem Parallelismus zuvor bestimmte Correctionen an den Resultaten anbringen, allein sie sind nicht gegen Zweifel gesichert im Fall z. B. die Flüssigkeit und das Gefäfs erheblichen Temperaturveränderungen ausgesetzt werden.

Zu dieser Betrachtung will ich noch hinzufügen, dafs es nicht ganz unmöglich ist, dafs die Wirkung, welche die der Austrittsfläche sehr nahe liegenden Schichten auf den Lichtstrahl ausüben, merklich verschieden sey, je nachdem diese Schichten ganz frei sind oder in Contact stehen mit einem andern Mittel z. B. Glas, welches auf sie eine Capillarwirkung ausübt.

Die von mir vorgeschlagene Methode, welche in zwei gesonderte Processe zerfällt, hat zum Ausgangspunkt das bekannte Phänomen der scheinbaren Verschiebung, welches das Bild eines in einer durchsichtigen Flüssigkeit untergetauchten Körpers erfährt, wenn die ins Auge gelangenden Strahlen schief gegen die horizontale Oberfläche der Flüssigkeit austreten. Folgendes ist die erste Verfahrungsweise. Gesetzt, man habe auf den vollkommen horizontalen Boden eines leeren Gefäfses ein kleines Glaslineal *R* gelegt (Fig. 11 Taf. III) auf welchem eine Gerade in Millimeter getheilt ist. In der durch diese Gerade gehenden Verticalebene, welche auch die Ebene der Figur ist, stelle man einen getheilten Kreis, versehen mit Fernrohr und Fadenkreuz auf, z. B. einen Zenithalkreis. Man regulire wie gewöhnlich die Stellung dieses Instruments, neige das Fern-

1) *Traité de physique de Biot T. III p.* 220.

rohr um einen Winkel α, gerechnet von der Verticale des Centrums des Kreises, so dafs man einen Theilstrich A auf dem Lineal am Boden des leeren Gefäfses genau im Kreuzpunkt der Fäden des Fernrohrs erblickt. Giefst man nun langsam eine Flüssigkeit in das Gefäfs bis zu einer gewissen Höhe über dem Lineal, das nicht verschoben werden darf, so wird offenbar das Auge den Theilstrich A des Lineals nicht mehr hinter den unverrückt gebliebenen Kreuzpunkt der Fäden erblicken, sondern einen anderen Theilstrich A', welcher der Verticale des graduirten Kreises näher liegt. Bemerken wir, dafs während dieses Versuchs der Neigungswinkel α des Fernrohrs, welcher auch der Austrittswinkel des Strahls ist, sich nicht verändert hat.

Kennten wir den Brechungswinkel α', so würde der Werth des Indexes n bestimmt seyn durch die Relation $n = \frac{\sin\alpha}{\sin\alpha'}$. Diese Bestimmung ist aber leicht zu machen, wenn man erwägt, dafs man successive hat:

$$\operatorname{tg}\alpha' = \frac{A'm}{om} = \frac{Am - AA'}{om} \text{ und } \operatorname{tg}\alpha = \frac{Am}{om}.$$

Bezeichnen wir mit d die scheinbare Verschiebung AA' und mit e die Dicke der flüssigen Schicht über der Platte, so haben wir

$$\operatorname{tg}\alpha' = \operatorname{tg}\alpha - \frac{d}{e} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (1).$$

Wir erhalten den unmittelbaren Ausdruck für den Index n in Function der Gröfsen α, d, e, wenn man den Nenner der Formel $n = \frac{\sin\alpha}{\sin\alpha'}$ mit $\frac{\cos\alpha}{\cos\alpha'}$ multiplicirt, so dafs man anfangs hat:

$$n = \frac{\sin\alpha}{\operatorname{tg}\alpha'} \sec\alpha'$$

dann endlich mittelst des Ausdrucks (1)

$$n = \sin\alpha \sqrt{1 + \frac{1}{\left(\operatorname{tg}\alpha - \frac{d}{e}\right)^2}} \quad . \; . \quad (2).$$

Was die Brechkraft der Flüssigkeit betrifft, so hat sie zum Ausdruck:

$$n^2 - 1 = \frac{\sin^2 \alpha}{\left(\operatorname{tg} \alpha - \frac{d}{e}\right)^2} - \cos^2 \alpha \quad . \quad (3).$$

Für die Leichtigkeit der Rechnung mittelst dieser Formeln ist zu bemerken, dafs, für eine Versuchsreihe mit einer und derselben Flüssigkeit, $\sin \alpha$ und $\operatorname{tg} \alpha$ constante Werthe behalten, sobald die Neigung α des Fernrohrs unveränderlich bleibt [1]).

Beim Experimentiren legt man das getheilte Lineal nicht unmittelbar auf den horizontalen Boden des Gefäfses, denn dieser könnte zufälligerweise verschoben werden, sondern auf einen winkelförmigen Bügel abc (Fig. 12 Taf. III), welcher von einer äufseren Stütze A getragen wird und seinerseits das Lineal in einer gewissen Entfernung vom Boden hält. Der Bügel abc ist aus Metalldraht gebildet, oder besser aus einer gebogenen Glasöhre um ihn gegen jeden chemischen Angriff seitens der Flüssigkeit sicher zu stellen. Der Scheitel b des Winkels ist drehbar am Kopf der Stütze befestigt: und an dem Schenkel bc ist eine kleine Schraube angebracht, die in eine an der Stütze befestigte Mutter eindringt; sie dient dazu, dem Bügel eine langsame Drehung um den Punkt b zu geben, damit man das getheilte Lineal in eine vollkommen horizontale Lage bringen könne. Zu dem Ende stellt man auf dieses eine Libelle, die durch drei zarte Glasfüfse oberhalb der Flüssigkeit getragen wird, wie es die Figur zeigt. Das obere Ende des Fufses t ist eingelassen nicht in die Bodenplatte der Libelle sondern in eine Messingschraube, welche diese Platte durchsetzt. Diese

1) Der Parallelismus der flüssigen Oberfläche BE mit dem als vollkommen horizontal vorausgesetzten Lineal R nähert die beschriebene Methode der des Refractometers, wo das flüssige Mittel von zwei parallelen Ebenen begränzt ist. Bei letzterer Methode wird der Werth des Indexes mittelst eines Ausdrucks bestimmt, der sich leicht auf die Form (2) zurückführen läfst, aber in welchem die aufserhalb gemessene und mit d des gegenwärtigen Processes verglichene Verschiebung, gleich kommt $d \cos \alpha$, wenn die Dicke der Flüssigkeit $= e$ und der Austrittswinkel des Lichtstrahls $= \alpha$. Die scheinbare Verschiebung erhält dadurch bei dieser Methode einen geringeren Werth als der von d, gemessen auf dem in der Flüssigkeit untergetauchten Lineal.

Schraube dient dazu, im Voraus die Horizontalität der Libelle auf die gewöhnliche Weise zu ajustiren. Es ist zweckmäfsig die Libelle bei gewissen Versuchen wo sie aus der absoluten Horizontalität abgelenkt werden könnte, auf dem Lineale stehen zu lassen.

Der getheilte Kreis und das Fernrohr werden, wie man gesehen, in die durch die getheilte Linie des Lineals gehende Vertical-Ebene gestellt, in einem Abstand von dieser Linie, die der Brennweite des Fernrohrs angemessen ist. Es ist gut sich bei der ganzen Messung eines Instrumentes zu bedienen, das gestattet, den Winkel α bis auf eine Minute zu messen. Hat man einen repetirenden Zenithalkreis zu seiner Verfügung, so läfst sich der Winkel α durch den Procefs der Repetition mit grofser Genauigkeit bestimmen, wobei man den Theilstrich A als Ausgangspunkt nimmt.

Die Dicke e der flüssigen Schicht über dem getheilten Lineal mifst sich mit grofser Genauigkeit mittelst eines Kathetometers, unter dessen Fernrohr man vertical einen zugespitzten Stift von Metall oder besser von Glas angeschraubt hat. Der Abstand zwischen den beiden Lagen des Fernrohrs an der lothrechten Säule des Instruments, wenn die Spitze des Stifts die Oberfläche der Flüssigkeit in dem Gefäfs ohne Capillarität, und darauf die obere Seite des Lineals berührt, ist genau die Dicke e der flüssigen Schicht über dem Lineal.

Wenn man, um eine gröfsere Genauigkeit zu erreichen, das Lineal mit einer sehr feinen Theilung, wenigstens einer von Millimetern, versehen hat, so wird bei grofser Schiefe des Fernrohrs die Ablesung schwierig. Dieser Uebelstand wird indefs vermieden, wenn man es so einrichtet, dafs nicht nur der Theilstrich A, welchen man im Leeren sieht, sondern auch irgend ein andrer Theilstrich A', den man durch Refraction erblickt, genau im Kreuzpunkt der Fäden erscheint, nachdem die Flüssigkeit in das Gefäfs gegossen ist. Der Abstand d der Theilstriche A, A' wird dann genau durch eine ganze Anzahl von Millimetern geschätzt

seyn. Die Coïncidenz mit dem Theilstrich A läſst sich leicht durch Zusatz oder Wegnahme einer kleinen Menge der Flüssigkeit, vor der Messung der Dicke e, herstellen oder besser noch, indem man einen Glascylinder mehr oder weniger tief in die Flüssigkeit eintaucht.

Aber, kann man fragen: muſs sich nicht die Wahl der dem Neigungswinkel α zu gebenden Gröſse auf einen gewissen Werth werfen, welcher jeden in der Ablesung des Winkels α oder den Messungen von d und e begangenen Fehler auf seinen geringsten Einfluſs reducirt? Die Rechnung beweist, daſs in dem einen und dem anderen Fall daſs Verhältniſs zwischen dem Fehler, der daraus für $n^2 - 1$ hervorgeht, und dem Beobachtungsfehler desto geringer ist als der Winkel α gröſser. Die Schwierigkeit, die Theilstriche der Skale unter einer groſsen Schiefe abzulesen, muſs die Gröſse des Winkels α zwischen 40° und 60° begränzen, um diese andere Fehlerquelle in der Schätzung von d zu vermeiden.

Das zweite Verfahren zur Messung des Indexes einer Flüssigkeit ist einfacher als das vorhergehende, weil es überhebt, ein getheiltes Lineal in die Flüssigkeit zu legen.

Ehe man die Flüssigkeit in das Gefäſs gieſst, läſst man in letzteres den am Fernrohr des Kathetometers angebrachten verticalen Stift herab, indem man den beweglichen Schlitten, der das ganze trägt, längs der graduirten Säule des Instruments, das wir übrigens als wohl ajustirt in seiner Stellung annehmen, herunterschiebt. Man hält damit ein im Moment, wo das Bild der Spitze des Stifts zusammenfällt mit dem Fadenkreuz im Fernrohr des getheilten Kreises, welches, wie vorhin, unter einem Winkel α geneigt ist. Sey a (Fig. 13 Taf. III) der Ort wo sich alsdann in einer gewissen Entfernung vom Boden des Gefäſses, die Spitze in der Richtung aoC der Axe des geneigten Fernrohrs befindet. Gieſst man nun die Flüssigkeit in das Gefäſs bis ihr Niveau mehre Millimeter über der Spitze befindlich ist, so wird das Bild dieser Spitze, wegen der Brechung, welche die Flüssigkeit auf den ganzen von der Spitze

ausgehenden Lichtstrahl ausübt, nicht mehr mit dem Fadenkreuz zusammenfallen, sondern sich schief gegen die Austrittsfläche der Flüssigkeit darstellen. Man stellt nun die scheinbare Coïncidenz des Fadenkreuzes mit dem Bilde wieder her, indem man die Spitze, mittelst des beweglichen Schlittens am Kathetometer, senkrecht aus seiner ersten Stellung herabläfst. Die neue Coïncidenz stellt sich ein, wenn die Spitze die Stellung a' erreicht, für welche der von diesem Ort ausgehende Lichtstrahl, aufserhalb der Flüssigkeit, zusammenfällt mit der Verlängerung Co der Axe des Fernrohrs, indem er die gebrochene Richtung $a'oC$ auf seiner Bahn einschlägt.

Es ist leicht den Werth n des Indexes in Function des Austrittswinkels α zu bestimmen, so wie die Gröfsen ca, ca' um welche sich die Spitze unterhalb des Niveau BE der Flüssigkeit befindet, wenn die beiden successiven Coïncidenzen in a und a' stattfinden. In der That bezeichnet α' den Brechungswinkel, so haben wir:

$$ca : ca' :: \cot\alpha : \cot\alpha'.$$

Aus dieser Proportion und der bekannten Relation $n = \frac{\sin\alpha}{\sin\alpha'}$ leiten wir ab

$$n = \frac{ca' \,.\, \cos\alpha}{ca \,.\, \cos\alpha'}.$$

Bezeichnen wir respective mit e und e' die Abstände ca und ca', erheben die vorstehende Gleichung ins Quadrat, ersetzen darauf $\cos^2 a$ durch $1 - \sin^2\alpha$, und $\cos^2 a'$ durch $1 - \frac{\sin^2\alpha}{n^2}$ so erhalten wir:

$$n^2 = \frac{e^2 \sin^2\alpha + e'^2 \cos^2\alpha}{e^2}$$

und endlich

$$n = \sqrt{\sin^2\alpha + \frac{e'^2}{e^2}\cos^2\alpha} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3).$$

Die Brechkraft anlangend, so hat sie zum Ausdruck:

$$n^2 - 1 = \cos^2\alpha \frac{e'^2 - e^2}{e^2} \quad . \quad . \quad . \quad (4).$$

Sind die Beobachtungen unter einem Winkel von 45° ausgeführt, so werden die obigen Ausdrücke

$$n = 0{,}70711\sqrt{\frac{e'^2 + e^2}{e^2}} \text{ und } n^2 - 1 = 0{,}5\,\frac{e'^2 - e^2}{e^2}$$

Wiederholen wir kurz, in Bezug auf die kathetometrischen Messungen, den bei diesem zweiten Verfahren einzuschlagenden Gang.

Nachdem die Stellung des getheilten Kreises und des Kathetometers ajustirt worden, notire man zuvörderst genau den Punkt, welchen auf der getheilten Säule des letzteren der den Stift tragende bewegliche Schlitten einnimmt, wenn das Bild der in das leere Gefäfs versenkten Spitze mit dem Fadenkreuz im Fernrohr des Kreises zusammenfällt. Hierauf giefse man Flüssigkeit hinein. Da nun die frühere Coïncidenz nicht mehr existirt, so stelle man sie wieder her, indem man die Spitze durch Herablassen des Schlittens in die Flüssigkeit versenkt. Man notire dann sorgfältig diese zweite Lage. Endlich schiebe man den Schlitten wieder hinauf so weit, dafs die Spitze, frei von aller Capillarwirkung der Flüssigkeit, die Oberfläche so eben berührt. Die Abstände der beiden ersten Stellungen des Schlittens von dieser dritten, geben genau die respectiven Werthe von e und e'. Wohl verstanden mufs die Spitze bei den beiden ersten Stellungen genau in einer und derselben Vertikale bleiben.

Die Rechnung zeigt, dafs, bei diesem zweiten Verfahren ein in der Ablesung des Winkels α begangener Fehler desto weniger Einflufs auf den Werth von $n^2 - 1$ hat, als dieser Winkel kleiner ist, und dafs umgekehrt, je gröfser derselbe ist, desto weniger die Bestimmung von $n^2 - 1$ durch einen in der Ablesung von e oder e' begangenen Fehler beeinflufst wird. Es ist also zweckmäfsig das Fernrohr um Winkel zwischen 40° und 60° zu neigen [1]).

1) Man mufs sich fragen, ob sich nicht bei so grofsen Austrittswinkeln ein Effect von irisirenden Farben vermöge der dispersiven Wirkung der Flüssigkeit bis zu dem Grade zeige, dafs dadurch die Schärfe der Wahrnehmung der Theilstriche auf dem horizontalen Lineal bei der

Vergleichen wir die beiden beschriebenen Verfahrungsarten, so scheint die zweite den Vorzug zu verdienen, theils wegen ihrer gröfseren Einfachheit, theils weil sie nicht erfordert, dafs ein getheiltes Lineal an einem besonderen Apparat horizontal in der Flüssigkeit aufgehängt sey.

Jede dieser beiden Methoden besitzt den schätzbaren Vortheil, dafs sie Bestimmungen der Brechung einer Flüssigkeit unter gleichen Umständen in unbegränzter Zahl gegestattet, entweder indem man successiv die Dicke der flüssigen Schicht, oder die Gröfse des Austrittswinkels von einer Versuchsreihe zur anderen bei derselben Flüssigkeit abändert. Ich gebe hier folgende mit *destillirtem Wasser* bei Winkeln von 50° und 60° erhaltene Mittelwerthe, um zu zeigen, wie sie nach beiden Methoden unter sich und mit andern schon bekannten Resultaten übereinstimmen, wobei indefs Rücksicht zu nehmen ist auf die ungünstigen Umstände, unter welchen die folgenden Werthe bestimmt wurden.

	Brechungsindex des destillirten Wassers nach der	
Austrittswinkel	ersten Methode	zweiten Methode
60°	1,334872	1,334950
50°	1,336010	1,336101

Die in der ersten Zeile angegebenen Resultate wurden im Mittel mit Wasser von 17°,55 C. Temperatur erhalten. Bei den zwei bei 50° angestellten Versuchsreihen blieb die Temperatur der Flüssigkeit beinahe auf 16° 70.

Die Resultate stimmen beinahe mit einander, und weichen, besonders in ihrem Mittel 1,335493, wenig ab von dem Index der Linie *E*, welcher nach Fraunhofer bei 18° 75 C. gleich 1,335851 ist. Diese Linie liegt an der Gränze des Gelben und Grünen. Wenn die Ueberein-

ersten Methode oder der Spitze des Stifts nach der zweiten Methode leide. Bei den Beobachtungen, die bei 50° mit Schwefeläther und Schwefelkohlenstoff angestellt wurden, habe ich keine Spur von Irisirung an den Theilstrichen oder der Spitze wahrgenommen, obgleich diese Flüssigkeiten, besonders die letztere, ein grofses Dispersionsvermögen besitzen.

stimmung dieser Resultate, vorausgesetzt bei derselben Temperatur erhalten, vollkommen wäre, würden sie den *mittleren* Index des Wassers vorstellen, weil sie anscheinend ohne Dispersions-Effect erhalten wurden. Allein diese Werthe zeigen kleine Unterschiede, welche Erläuterungen bedürfen, um die Anwendung der vorgeschlagenen Methoden vollständig zu rechtfertigen.

Die Hauptursache dieser Abweichungen entspringt unzweifelhaft aus der Mangelhaftigkeit des von mir als Kathetometer angewandten Instruments. Es ist zuvördest wichtig zu bemerken, dafs die Werthe von e und e' mit groſser Genauigkeit gemessen werden müssen, und man Fehler bei ihnen noch mehr zu vermeiden hat als bei dem Winkel α. In der That, nimmt man an, der Winkel sey wohl bestimmt und bleibe bei einer Beobachtungsreihe mit derselben Flüssigkeit constant, so sind die Gröfsen e und e' deren Quadrate in den erwähnten Formeln vorkommen, die einzigen Variablen. Wenn die Messung der einen oder aller beiden fehlerhaft ist, so werden die Werthe von n bei einer und derselben Versuchsreihe merklich verschieden seyn, ungeachtet der Genauigkeit der Messung des Winkels α. Fügen wir hinzu, dafs die nach der zweiten Methode erhaltenen Resultate mehr ausgesetzt sind, von den Fehlern der Graduation des Kathetometers afficirt zu werden, als die nach der ersten Methode erlangten, weil die Messungen von e und e' aus drei Lagen des beweglichen Schlittens an der Säule des Kathetometers abgeleitet werden; während bei der ersten Methode die Messung von e nur von zwei Lagen des Schlittens abhängt und die Bestimmung von d, wie man oben gesehen, ganz unabhängig ist von der Genauigkeit des Kathetometers.

Diese allgemeinen Andeutungen zeigen, wie nöthig es ist, dafs die kathetometrischen Messungen mit Genauigkeit gemacht seyen. Dieser Bedingung vermochte ich nicht zu genügen, weil das Instrument, welches ich in Ermangelung eines Kathetometers anwandte, von kleinen Dimensionen war und keineswegs alle Bürgschaft der gewünschten Ge-

nigkeit darbot, namentlich in Betreff des Verniers. Bei diesen ungünstigen Umständen halte ich mich für berechtigt, die Abweichungen zwischen den angeführten Resultaten den Mängeln der Construction und nicht der Unvollkommenheit der vorgeschlagenen Methoden zuzuschreiben. Ich bin überzeugt, dafs meine Resultate ohne den Mangel eines zweckmäfsigen Instruments vollkommen übereinstimmend seyn würden.

Was das Instrument betrifft, mit dem ich den Austrittswinkel mafs, so war es ein vortrefflicher Theodolith, der Verticalwinkel bis auf 30″ messen liefs und rectificirt worden war. Ihm kann man also nicht die bezeichneten Abweichungen zuschreiben, obgleich sie bei den Messungen die unter verschiedenen Winkeln gemacht wurden, etwas gröfser sind als zwischen den bei einem und demselben Winkel erhaltenen Werthen [1]).

1) Es ist wichtig hier bemerklich zu machen, dafs es unmöglich ist, mittelst der Beobachtungen über die Brechung der Flüssigkeit selber, den constanten Fehler x zu berechnen, welcher, sobald der Kreis nicht vollkommen regulirt wäre, die Messung des Austrittswinkels nach der zweiten Methode afficiren würde, wenn auch die Messungen der Dicke der flüssigen Schicht mittelst eines guten Kathetometers genau erhalten wären.

Sey α der fehlerhafte Winkel, welcher mit den genauen kathetometrischen Messungen von e und e' zur Berechnung der Brechung der Flüssigkeit dienen soll. Kennte man den constanten Fehler x, der aus mangelhafter Regulirung des Kreises entspringt, so würde das Brechungsvermögen mittelst der, der zweiten Methode angehörigen Formel (4) zu berechnen seyn, und man würde, ohne zuvörderst den absoluten Werth des Zeichens von x festzustellen, genau haben:

$$n^2 - 1 = \left(\frac{e'^2 - e^2}{e^2}\right) \cos^2(\alpha + x).$$

Für eine zweite Beobachtung an derselben Flüssigkeit unter einem anderen, mit dem Fehler x behafteten Winkel α', dem die genauen kathetometrischen Messungen a und a' entsprächen, hätten wir ebenso genau:

$$n^2 - 1 = \left(\frac{a'^2 - a^2}{a^2}\right) \cos^2(\alpha' + x).$$

Diese beiden Ausdrücke sind streng gleich, weil darin die Winkel α, α' mit derselben Berichtigung vorkommen und weil die kathetometrischen Messungen genau sind; wir haben also

Ungeachtet der Vorsichtsmaſsregeln, über welche ich mich so eben verbreitete, sind die beschriebenen Methoden, scheint mir, einer gröſseren Genauigkeit fähig, als die mit dem Flaschen-Prisma, da man dabei zwei Winkel zu messen hat, den am Scheitel des Prismas und den Winkel des Ablenkungs-Minimum während der Beobachtung. Nun geben die Instrumente, deren man sich hierzu bedient, z. B. das Babinet'sche Goniometer, häufig die Winkel nur bis auf eine Minute an. Bei den beschriebenen Methoden ist nur eine einzige Winkelmessung zu machen, und die Genauigkeit derselben kann, wie vorhin gesagt, mit einem Repetitionskreise so weit wie möglich getrieben werden. Da überdieſs die Brechung an der freien Oberfläche der Flüssigkeit geschieht, so bedürfen die erhaltenen Resultate keiner Correction wegen mangelnder Gleichheit in der Dicke der Glasplatten oder wegen nicht vollkommenen Parallelismus der Gläser, die ein Mittel mit parallelen Flächen begränzen.

$$\cos(\alpha + x) = \cos(\alpha' + x)\,\frac{e}{a}\sqrt{\frac{a'^2 - a^2}{e'^2 - e^2}}$$

Bezeichnen wir mit q den Factor

$$\frac{e}{a}\sqrt{\frac{a'^2 - a^2}{e'^2 - e^2}}$$

dessen numerischer Werth genau bekannt ist, und entwickeln $\cos(\alpha + x)$ und $\cos(\alpha' + x)$, so erhalten wir leicht:

$$\tan x = \frac{\cos\alpha - q\cos\alpha'}{\sin\alpha - q\sin\alpha'}.$$

Je nachdem der hieraus abgeleitete Zahlenwerth von $\operatorname{tg} x$ positiv, negativ oder Null ist, wird die constante Berichtigung x additiv, subtractiv oder ganz Null seyn. Im letzteren Fall wären die Bestimmungen von α und α' genau.

Wenn man, zur gröſseren Sicherheit in der Bestimmung von x, die Elemente einer dritten Beobachtung mit denen der ersten oder der zweiten combinirt, und man findet genau oder sehr nahe denselben Werth von $\operatorname{tg} x$, so ist der Fehler x in der That bei allen drei Beobachtungen constant gewesen. Im entgegengesetzten Fall muſs man schlieſsen, daſs der Fehler schwankte oder daſs unter den kathetometrischen Messungen fehlerhafte vorkamen. Diese besondere Rechnung bietet also ein schätzbares Mittel, den Ursprung der Abweichungen zwischen den bei einer selben Substanz erhaltenen Resultaten aufzufinden

Erinnern wir noch daran, dafs, da die Anzahl der Bestimmungen des Indexes der Flüssigkeit unter gleichen Bedingungen unbegränzt ist, je nachdem man successiv den Winkel α oder die Dicke e verändert, die erhaltenen speciellen Resultate nach der Methode der kleinsten Quadrate behandelt werden können, um den Werth des Endresultats strenge festzusetzen.

Allein die theoretische Speculation ist zu einem Einwurf gegen die neuen Methoden berechtigt, indem es sich fragt, auf welche Farbe des Spectrums ein Index zu beziehen sey, der mittelst Processe bestimmt worden ist, bei welchen anscheinend keine Dispersion auftritt? Sind nicht die Vorzüge, welche ich geltend zu machen suchte, gleichsam illusorisch gegenüber den merkwürdigen Arbeiten der HH. Kirchhhoff und Bunsen über die Spectrallinien, die, schon früher als Merkzeichen zur Festsetzung des Indexes brechender Substanzen benutzt, dadurch eine erhöhte Wichtigkeit erlangt haben? Dieser Einwurf verliert viel von seiner Bedeutung durch einen Kunstgriff, den mir Hr. Plateau gütigst angab zur Beseitigung einer Schwierigkeit, die er selbst zuerst erhob, als ich ihn zu Rathe zog, um mich zu überzeugen, ob meine erste Methode schon vorgeschlagen worden sey. Das sehr wirksame Mittel welches dieser Physiker mir angab, besteht darin das in der Flüssigkeit befindliche getheilte Lineal zu beleuchten, dadurch, dafs man eine oder die andere Farbe des Spectrums auf dasselbe wirft. Man begreift nämlich, dafs, wenn, bei der ersten Methode, der Theilstrich A' des Lineals bei Beleuchtung mit weifsem Licht mit dem Fadenkreuz zusammenfällt, diefs nicht mehr der Fall seyn wird, wenn man, ohne den Winkel α oder die Dicke der flüssigen Schicht zu ändern, das rothe oder violette Licht des Spectrums auf diesen Theilstrich fallen läfst. Im ersten Fall wird die Coïncidenz diesseits des Theilstrichs A' in Bezug auf den Theilstrich A statthaben, weil die rothen Strahlen weniger gebrochen werden; und im zweiten Fall wird, wegen der gröfseren Brechbarkeit der violetten Strahlen, die Coïncidenz

jenseits dieses Striches eintreten. Bei Anwendung der zweiten Methode nimmt man einen ähnlichen Kunstgriff zu Hülfe indem man dem Stift des Kathetometers zuvor eine Spitze von weifsem Porcellan giebt, und diese bei den Versuchen successive mit den verschiedenen Farben des Spectrums beleuchtet.

Als specielle Anwendungen der neuen Methoden will ich schliefslich noch hinweisen auf die Untersuchungen über den Einflufs der Temperatur oder den der Beimischung verschiedener Substanzen auf die Brechung von Flüssigkeiten, genommen in Massen. Diese wichtigen Gegenstände sind schon von mehrern Physikern bearbeitet worden, allein innerhalb gewisser Gränzen, die gegenwärtig leicht zu überschreiten seyn werden. Es wird auch leichter seyn, die Brechkraft von Substanzen zu bestimmen, welche, wie Wachs, Fette, Stearinsäure, Schwefel usw., im geschmolzenen Zustande, nahe beim Schmelzpunkt und innerhalb gewisser Gränzen von Dicke, eine hinreichende Durchsichtigkeit besitzen, um auf sie die zweite Methode anzuwenden. Erinnert man sich der Bemerkung von Newton über die Gröfse der Brechkräfte des Diamants und der fetten Oele, nach welcher dieses grofse Genie die Gegenwart einer brennbaren Substanz im Diamant muthmafste, so ist es nicht gleichgültig für die Fortschritte der zwischen Wärme und Licht herzustellenden theoretischen Verknüpfung, die Untersuchungen über die Wirkungen des Lichts auf die möglich gröfste Anzahl verbrennlicher Substanzen auszudehnen.

Denken wir uns endlich in einem Gefäfse zwei oder drei mit einander nicht mischbare Flüssigkeiten übereinander gelagert z. B. Schwefelkohlenstoff, Wasser und ein fettes oder ätherisches Oel, das leichter als Wasser ist. Diese Flüssigkeiten stellen Media mit vollkommen parallelen und horizontalen Gränzflächen dar. Es wird nützlich seyn, mittelst der zweiten Methode zu erfahren, ob der Brechungsindex zweier aneinander liegender Flüssigkeiten streng gleich sey dem Verhältnifs ihrer absoluten Indices.

Ich zweifle daran, weil hier die Oberflächen zweier dieser übereinander gelagerter Flüssigkeiten nicht vollkommen *frei* sind beim Contact mit der Luft. Es finden dann zwischen den unendlich dünnen Schichten, welche den Trennungsflächen nahe liegen, Anziehungen von der Ordnung der Capillarwirkungen statt, und diese Anziehungen sind, ungeachtet der Nicht-Adhärenz der Flüssigkeiten, nicht streng denen gleich, welche an der freien Oberfläche einer dieser Flüssigkeiten ausgeübt werden. Es ist nicht ganz unmöglich, scheint mir, daſs diese Wirkungen die Dichte der besagten flüssigen Schichten verschiedentlich abändern, bis zu dem Grade, daſs diese schwachen Modificationen durch ihren Einfluſs auf das gebrochene Licht experimentell nachgewiesen werden können.

V. *Ueber den Einfluſs der atomistischen Zusammensetzung C, H und O-haltiger flüssiger Verbindungen auf die Fortpflanzung des Lichtes; von H. Landolt.*

Die vorliegende Abhandlung enthält die Resultate, welche sich aus den früher (diese Annalen Bd. 117, S. 353 und Bd. 122, S. 545) mitgetheilten Bestimmungen der Brechungsexponenten und specifischen Gewichte organischer Körper ableiten lassen.

Einfluſs der Dichte auf den Brechungsindex.

Die bei mehren Substanzen für eine Reihe verschiedener Temperaturgrade ermittelten Brechungsexponenten benutzte ich zunächst, um die Formeln zu prüfen, welche bis dahin über den Zusammenhang zwischen der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes in einem Mittel und dessen Dichtigkeit aufgestellt worden sind.

Die Emanationstheorie hatte, wie bekannt, eine Relation zwischen Brechungsindex n und Dichte d unter dem als *specifisches Brechungsvermögen* bezeichneten Ausdruck:

$$\frac{n^2 - 1}{d}$$

gegeben. Diese schon seit langer Zeit vielfach angewandte aber auch oft wieder verworfene Formel ist in letzter Zeit aufs Neue in Betracht gezogen worden und zwar von Schrauf in seiner Abhandlung über die Abhängigkeit der Fortpflanzung des Lichtes von der Körperdichte [1]). Den Refractionscoëfficienten A der Cauchy'schen Formel $\mu = A + \frac{B}{\lambda^2}$ zu Grunde legend, sucht er hauptsächlich aus den von Dale und Gladstone [2]) mitgetheilten Bestimmungen der Brechungsindices einer Anzahl von Flüssigkeiten die Constanz von $\frac{A^2 - 1}{d}$ bei verschiedenen Temperaturgraden nachzuweisen, und stellt aufserdem für den Einflufs der Dichte auf die Dispersion die Formel $\frac{B}{d^2}$ auf.

Aus den Untersuchungen von Biot und Arago, sowie von Dulong über das Brechungsvermögen der Gase liefs sich anderseits ableiten, dafs auch direct die Ueberschüsse der Brechungsexponenten über die Einheit den Dichtigkeiten proportional gesetzt werden können [3]), also die Formel:

$$\frac{n - 1}{d}$$

den Beobachtungen ebenso gut entspricht als die erst angegebene. Dale und Gladstone haben diesen letztern Ausdruck auf flüssige Substanzen angewandt; sie zeigen in einer neuern Arbeit [4]), dafs die Gröfse $A^2 - 1$ nicht genau in demselben Verhältnifs unter dem Einflufs der Temperatur sich ändert wie die Dichte, dagegen die Formel $\frac{n-1}{d}$ viel constantere Quotienten liefert.

1) Pogg. Ann. Bd. 116, S. 193.
2) *Phil. Transact.* 1858 *p.* 887.
3) Beer. Höhere Optik S. 35.
4) *Phil. Transact.* 1863 *p.* 317.

Obgleich meine eigenen Messungen sich nur innerhalb geringer Temperaturgränzen bewegen, so sprechen sie doch wie aus der nachfolgenden Tabelle I hervorgeht, unverkennbar für die gröfsere Gültigkeit der Formel $\frac{n-1}{d}$. Ich führe für einige Flüssigkeiten die Werthe von $\frac{\mu_\alpha - 1}{d}$ und $\frac{A-1}{d}$ sowie der Schrauf'schen Formeln $\frac{A^2-1}{d}$ und $\frac{B}{d^2}$ bei verschiedenen Temperaturgraden an. Zur Berechnung der Dichtigkeiten, welche sich auf Wasser von 0° als Einheit beziehen, wurden die von Kopp gegebenen Ausdehnungsformeln benutzt.

Tabelle I.

t^0	d	μ_α	A	B	$\frac{\mu_\alpha - 1}{d}$	$\frac{A-1}{d}$	$\frac{A^2-1}{d}$	$\frac{B}{d^2}$
				1) Propionsäure $d_0 = 1,0168$.				
18	0,9970	1,3854	1,3772	0,3534	0,3866	0,3784	0,8994	0,3555
20	0,9948	1,3846	1,3764	0,3521	0,3866	0,3784	0,8991	0,3558
22	0,9926	1,3838	1,3756	0,3534	0,3866	0,3784	0,8989	0,3587
24	0,9905	1,3830	1,3747	0,3534	0,3867	0,3783	0,8984	0,3602
26	0,9882	1,3822	1,3740	0,3538	0,3867	0,3785	0,8984	0,3623
28	0,9861	1,3814	1,3732	0,3524	0,3868	0,3785	0,8981	0,3624
Δ 18 / 28	— 0,0109	— 0,0040	— 0,0040	— 0,0010	+ 0,0002	+ 0,0001	— 0,0013	+ 0,0069
				2) Aethyl-Alkohol $d_0 = 0,8156$.				
12	0,8054	1,3638	1,3564	0,3170	0,4517	0,4426	1,0427	0,4887
14	0,8037	1,3630	1,3557	0,3160	0,4517	0,4426	1,0425	0,4892
16	0,8020	1,3622	1,3549	0,3150	0,4516	0,4425	1,0421	0,4897
18	0,8003	1,3613	1,3540	0,3170	0,4515	0,4423	1,0413	0,4949
20	0,7986	1,3605	1,3532	0,3153	0,4515	0,4423	1,0408	0,4944
22	0,7969	1,3598	1,3525	0,3120	0,4515	0,4424	1,0406	0,4913
24	0,7952	1,3590	1,3517	0,3120	0,4514	0,4423	1,0401	0,4934
26	0,7934	1,3582	1,3510	0,3106	0,4515	0,4424	1,0400	0,4934
28	0,7917	1,3574	1,3502	0,3103	0,4514	0,4423	1,0396	0,4951
Δ 12 / 28	— 0,0137	— 0,0064	— 0,0062	— 0,0067	— 0,0003	— 0,0003	— 0,0031	+ 0,0064

t^0	d	μ_α	A	B	$\frac{\mu_\alpha - 1}{d}$	$\frac{A-1}{d}$	$\frac{A^2-1}{d}$	$\frac{B}{d^2}$
				3) Amyl-Alkohol $d_4 = 0{,}8277$.				
16	0,8151	1,4073	1,3985	0,3779	0,4996	0,4889	1,1726	0,5688
18	0,8136	1,4065	1,3978	0,3752	0,4996	0,4889	1,1723	0,5668
20	0,8121	1,4057	1,3971	0,3732	0,4996	0,4889	1,1721	0,5658
22	0,8106	1,4049	1,3963	0,3708	0,4995	0,4889	1,1715	0,5643
24	0,8090	1,4041	1,3956	0,3688	0,4996	0,4890	1,1714	0,5635
26	0,8075	1,4034	1,3949	0,3668	0,4995	0,4890	1,1708	0,5625
Δ 16	—	—	—	—	—	+	—	—
26	0,0076	0,0039	0,0036	0,0111	0,0001	0,0001	0,0018	0,0063
				4) Aldehyd $d_0 = 0{,}8060$.				
6	0,7982	1,3379	1,3300	0,3394	0,4233	0,4134	0,9632	0,5327
8	0,7956	1,3367	1,3289	0,3377	0,4232	0,4134	0,9627	0,5335
10	0,7931	1,3356	1,3278	0,3351	0,4231	0,4133	0,9621	0,5327
12	0,7904	1,3344	1,3267	0,3317	0,4231	0,4133	0,9617	0,5309
14	0,7877	1,3332	1,3256	0,3290	0,4230	0,4134	0,9613	0,5302
16	0,7850	1,3321	1,3245	0,3267	0,4230	0,4134	0,9609	0,5301
18	0,7823	1,3309	1,3234	0,3240	0,4230	0,4134	0,9604	0,5294
20	0,7797	1,3298	1,3223	0,3217	0,4230	0,4134	0,9600	0,5292
Δ 6	—	—	—	—	—		—	—
20	0,0185	0,0081	0,0077	0,0177	0,0003	0,0000	0,0032	0,0035
				5) Bittermandelöl $d_0 = 1{,}0652$.				
16	1,0496	1,5412	1,5113	1,2857	0,5156	0,4872	1,2233	1,1670
18	1,0477	1,5402	1,5104	1,2830	0,5156	0,4872	1,2230	1,1688
20	1,0457	1,5392	1,5094	1,2820	0,5156	0,4871	1,2224	1,1724
22	1,0439	1,5381	1,5085	1,2787	0,5155	0,4871	1,2219	1,1734
24	1,0421	1,5371	1,5075	1,2770	0,5154	0,4870	1,2211	1,1759
26	1,0401	1,5361	1,5065	1,2747	0,5154	0,4870	1,2206	1,1783
Δ 16	—	—	—	—	—	—	—	+
26	0,0095	0,0051	0,0048	0,0110	0,0002	0,0002	0,0027	0,0113

Wie man bei sämmtlichen in der obigen Tabelle angeführten Substanzen sieht, bleiben stets die Werthe für $\frac{\mu_\alpha - 1}{d}$ oder $\frac{A-1}{d}$ innerhalb der angegebenen Temperaturgränzen beinahe vollkommen constant, während diejenigen welche die Formel $\frac{A^2-1}{d}$ liefert, mit steigender Temperatur in erheblichem Grade sich vermindern. Was das specifische Dispersionsvermögen, nach der Formel $\frac{B}{d^2}$ berech-

net, betrifft, so kann dieses wohl kaum als eine von der Temperatur unabhängige Constante angesehen werden.

Für die Folge bleibe ich bei der Formel

$$\frac{n-1}{d}$$

für das *specifische Brechungsvermögen* stehen. Ob dieselbe das wirkliche den Einfluſs der Dichte auf die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes bestimmende Gesetz ausdrückt oder nicht, lasse ich dahin gestellt; ich erwähne nur, daſs sie bei Wasser nicht in allen Fällen Gültigkeit haben kann, ebenso wenig wie die Formel $\frac{n^2-1}{d}$, indem mit beiden die bekannte, zuerst von Jamin [1]) festgestellte Thatsache, daſs bei dieser Flüssigkeit [2]) der Brechungsindex auch unterhalb der Temperatur von 4° noch eine Zunahme zeigt, durchaus nicht in Einklang zu bringen ist.

Bei den nachstehenden Untersuchungen wende ich noch eine weitere Formel an, nämlich das Product aus Atomgewicht P und specifischem Brechungsvermögen:

$$P\left(\frac{n-1}{d}\right)$$

1) *Compt. rend. XLIII p.* 1191. Pogg. Ann. Bd. 100 S. 478.

2) Die Brechungsexponenten des Wassers sind kürzlich von Van der Willigen (Pogg. Ann. Bd. 122. S. 191) neu gemessen worden, und zwar mittelst eines Meyerstein'schen Spectrometers unter Anwendung von Sonnenlicht. Die Resultate stimmen vollkommen mit denjenigen überein, welche ich früher (Pogg. Ann. Bd. 117 p. 360) mitgetheilt hatte, und die mit Benutzung des Wasserstoffspectrums und der Natriumlinie erhalten worden waren. Da die rothe Wasserstofflinie α mit C, die Natriumlinie mit D, und die grüne Wasserstofflinie β mit F coïncidirt, so ist eine Vergleichung der betreffenden Brechungsindices möglich. Van der Willigen giebt für die Temperatur 19°,5 folgende Zahlen:

C	D	F
1,33122	1,33307	1,33720

während ich bei 19° gefunden hatte:

$H\alpha$	Na	$H\beta$
1,33120	1,33281	1,33723

Man sieht demnach daſs das Wasserstoffspectrum mit vollständiger Sicherheit statt des Sonnenspectrums zur Bestimmung von Brechungsexponenten angewandt werden kann.

welches mit dem Namen *moleculares Brechungsvermögen* oder kürzer *Refractionsaequivalent* bezeichnet werden kann. Der entsprechende Ausdruck $P\left(\frac{n^2-1}{d}\right)$ ist schon früher von Berthelot [1]) und nachher von Schrauf [2]) mit Einführung des Refractionscoëfficienten A benutzt, und von letzterem ebenfalls Refractionsaequivalent genannt worden.

Isomere Körper.

Für die Untersuchung des Einflusses der atomistischen Zusammensetzung aus den nämlichen Elementen bestehender Verbindungen auf die Fortpflanzung des Lichtes sind zunächst die isomeren Körper von Wichtigkeit. Es ist die Frage ob eine verschiedene Gruppirung derselben Anzahl Atome in den Molecülen einer Substanz auf ihr Brechungsvermögen bestimmend einwirke oder nicht, schon früher mehrmals erörtert worden. Bequerel, Cahours, Deville sowie besonders Delffs hatten gefunden, dafs Körper von gleicher Zusammensetzung und wenig verschiedener Dichte auch annähernd gleiche Brechungsexponenten besitzen. Schrauf [3]) berechnete zuerst aus Brechungsindex und Dichte das specifische Refractionsvermögen metamerer und polymerer Substanzen nach der Formel $\frac{n^2-1}{d}$ und stellte den Satz auf, dafs dasselbe für jede Gruppe dieser Körper identisch sey und daher nur die empirische chemische Formel, nicht die rationelle für die optischen Verhältnisse in Betracht falle. Dale und Gladstone [4]) erhielten bei Isomeren aus der Benzolgruppe, sowie bei den Kohlenwasserstoffen $n(C_5H_4)$ für den Werth $\frac{n-1}{d}$ theils nahe übereinstimmende, theils aber wieder sehr von einander abweichende Zahlen und kommen zu dem Schlufs, dafs isomere Verbindungen in ihren optischen Eigenschaften zu-

1) *Ann. de chim. et phys.* T. 48 p. 342.
2) Pogg. Ann. Bd. 119 S. 461.
3) Ebendaselbst.
4) *Phil. Transact.* 1863 p. 317.

weilen weit verschieden, in vielen Fällen aber, besonders wenn ihre chemische Constitution eine analoge ist, auch identisch seyn können.

Zu einer sichern Entscheidung der Frage war offenbar das bisher vorhandene Beobachtungsmaterial noch zu ungenügend. Man weiſs nicht ob die manchmal sehr beträchtlichen Differenzen, die im specifischen Brechungsvermögen isomerer Körper erhalten wurden, bloſsen Beobachtungsfehlern, herrührend von Unreinheit der Substanz, zuzuschreiben sind, oder in der Natur der Sache liegen. Um über die Gränze der Unsicherheit ein Urtheil zu gewinnen habe ich daher von den meisten Verbindungen mehrere Präparate untersucht, und hierbei hat sich ergeben, daſs die Differenzen, welche ein und derselbe Körper im specifischen Brechungsvermögen $\frac{\mu_\alpha - 1}{d}$ zeigte, nie den Werth 0,004 überstiegen, selbst in dem Falle nicht, wo entschieden unvollkommen reine Substanzen in Vergleichung gezogen wurden [1]). Stellt man dagegen die von verschiedenen Be-

1) Ich führe für einige Substanzen die bei verschiedenen Präparaten erhaltenen Resultate an:

Präp.	d	μ_α	$\frac{\mu_\alpha - 1}{d}$	$P\frac{\mu_\alpha - 1}{d}$
		Essigsäure.		
I	1,0525	1,3709	0,3524	21,15
II	1,0567	1,3718	0,3518	21,11
III	1,0516	1,3701	0,3519	21,11
IV	1,0514	1,3699	0,3518	21,11
V	1,0620	1,3738	0,3520	21,12
VI	1,0592	1,3718	0,3510	21,06
		größte Differenz:	0,0014	

Die Präparate I bis IV wurden von mir untersucht, V von Sauber (Pogg. Ann. Bd. 117 S. 577) und VI von Dale und Gladstone.

Präp.	d	μ_α	$\frac{\mu_\alpha - 1}{d}$	$P\frac{\mu_\alpha - 1}{d}$
		Buttersaures Methyl.		
I	0,8948	1,3825	0,4275	43,60
II	0,8964	1,3842	0,4286	43,72
III	0,8969	1,3854	0,4296	43,82
IV	0,8970	1,3862	0,4306	43,92
V	0,8976	1,3869	0,4311	43,97
		größte Differenz:	0,0036	

obachtern für die nämliche Verbindung erhaltenen Resultate zusammen, so ergeben sich allerdings beträchtlichere Unterschiede in der Gröfse $\frac{\mu - 1}{d}$, die z. B. bei Alkohol den Werth 0,0114 erreichen.

Metamere und polymere Verbindungen finden sich unter den von mir untersuchten Substanzen, namentlich den zusammengesetzten Aethern, eine ziemliche Anzahl. Ich stelle in der nachfolgenden Tabelle II die bei den verschiedenen Gruppen derselben erhaltenen Werthe für das specifische Brechungsvermögen und das Refractionsaequivalent zusammen.

Tabelle II.

Formel		d	μ_α	$\frac{\mu_\alpha - 1}{d}$	$P\frac{\mu_\alpha - 1}{d}$
	A Metamerien.				
$C_3 H_6 O_2$ $P = 74$	Propionsäure	0,9963	1,3846	0,3860	28,57
	Essigsaures Methyl	0,9053	1,3592	0,3967	29,36
	Ameisensaures Aethyl	0,9078	1,3580	0,3944	29,18
$C_4 H_8 O_2$ $P = 88$	Buttersäure	0,9610	1,3955	0,4116	36,22
	Essigsaures Aethyl	0,9021	1,3707	0,4110	36,17
$C_5 H_{10} O_2$ $P = 102$	Valeriansäure	0,9313	1,4022	0,4319	44,05
	Buttersaures Methyl	0,8976	1,3869	0,4311	43,97
$C_6 H_{12} O_2$ $P = 116$	Capronsäure	0,9252	1,4116	0,4449	51,61
	Valeriansaures Methyl	0,8809	1,3927	0,4458	51,71
	Buttersaures Aethyl	0,8906	1,3940	0,4424	51,32
	Ameisensaures Amyl	0,8816	1,3959	0,4491	52,09

Das Präparat I ist, wie die früher angegebene Analyse desselben zeigt, entschieden unrein.

	d	μ_α	$\frac{\mu_\alpha - 1}{d}$	$P\frac{\mu_\alpha - 1}{d}$
		Alkohol.		
Deville	0,796	1,3633	0,4564	20,98
Dale und Gladstone	0,797	1,3621	0,4543	20,90
Landolt	0,801	1,3605	0,4501	20,70
Baden-Powell	0,815	1,3633	0,4458	20,51
Delffs	0,809	1,3601	0,4450	20,47
		gröfste Differenz:	0,0114	

Formel		d	μ_α	$\frac{\mu_\alpha - 1}{d}$	$P\frac{\mu_\alpha - 1}{d}$
$C_7 H_{14} O_2$ $P = 130$	Oenanthylsäure	0,9175	1,4192	0,4569	59,40
	Valeriansaures Aethyl	0,8674	1,3950	0,4554	59,20
	Essigsaures Amyl	0,8574	1,4017	0,4685	60,90
$C_4 H_{10} O$ $P = 74$	Butylalkohol	0,8074	1,3940	0,4879	36,11
	Aethyl-Aether	0,7166	1,3511	0,4900	36,26
	B. Polymerien.				
$C_2 H_4 O$	Aldehyd	0,7810	1,3298	0,4222	18,58
$C_4 H_8 O_2$	Buttersäure	0,9610	1,3955	0,4116	36,22
$C_3 H_6 O$	Aceton	0,7931	1,3572	0,4503	26,12
$C_6 H_{12} O_2$	Capronsäure	0,9252	1,4116	0,4449	51,61
$C_5 H_{10} O$	Valeral	0,7995	1,3861	0,4830	41,54
$C_{10} H_{20} O_2$	Valeriansaures Amyl	0,8581	1,4098	0,4775	82,14

Aus der vorstehenden Tabelle zeigt sich zunächst dafs metamere Körper, trotzdem dieselben oft erheblich verschiedene Brechungsexponenten und Dichten besitzen, doch in ihrem specifischen Brechungsvermögen sich einander meist sehr nähern. Hier, sowie anschliefsend auch im Refractionsaequivalent, findet man zum Theil nur geringe Abweichungen, die sich durch die Beobachtungsfehler vollkommen erklären lassen, in einigen Fällen aber auch dieselben stark überragende. Da die zusammengesetzten Aether, wie schon früher erwähnt, Körper sind, welche sich nur schwierig ganz rein erhalten lassen, so ist durch dieselben die obwaltende Frage nicht sicher endgültig zu entscheiden, in jedem Falle geht aber aus den erhaltenen Zahlen hervor, dafs wenn die Gruppirung der Atome auf das Brechungsvermögen einen Einflufs hat, dieser nur ein geringer seyn kann.

Bei den polymeren Substanzen ergiebt sich, dafs während Brechungsindex und Dichte für die Verdoppelung der C, H und O-Atome sich vermehren, dafs specifische Brechungsvermögen dagegen in allen Fällen eine kleine Verminderung erfährt. Die Refractionsaequivalente polymerer Körper werden daher nicht genau in multipelm Verhältnisse zu einander stehen.

Die Frage, ob gleiche procentische Zusammensetzung auch vollkommen gleiches specifisches Brechungsvermögen bedinge, läfst sich noch auf eine andere Weise prüfen. Wenn alle chemische Gruppirung der Atome in einer Substanz wegfällt, dann kann eine solche als eine blofse Mischung betrachtet werden. Es lassen sich nun leicht Flüssigkeiten von der procentischen Zusammensetzung einer bestimmten chemischen Verbindung durch Mischen von zwei oder mehren andern Substanzen in gewissem Aequivalentverhältnifs darstellen. Zeigt ein solches Gemenge dasselbe specifische Refractionsvermögen wie die wirkliche chemische Verbindung, so ist offenbar blofs das Mischungsverhältnifs der Elemente, nicht aber die verschiedene Lagerung der Atome, auf die optischen Eigenschaften von Einflufs.

Flüssigkeiten der erwähnten Art sind erstens möglich bei homologen Reihen, indem eine Mischung zweier entfernter Glieder die Zusammensetzung eines dazwischen liegenden haben kann z. B.

1 Aeq. Essigsäure + 1 Aeq. Buttersäure = 2 Aeq. Propionsäure
$$C_2H_4O_2 + C_4H_8O_2 = 2(C_3H_6O_2)$$
3 Aeq. Methylalkohol + 1 Aeq. Amylalk. = 4 Aeq. Aethylalkohol
$$3\,CH_4O + C_5H_{12}O = 4(C_2H_6O)$$
2 Aeq. Aethylalkohol + 1 Aeq. Amylalk. = 3 Aeq. Propylalkohol
$$2\,C_2H_6O + C_5H_{12}O = 3(C_3H_8O)$$
1 Aeq. Aethylalkohol + 2 Aeq. Amylalk. = 3 Aeq. Butylalkohol
$$C_2H_6O + 2\,C_5H_{12}O = 3(C_4H_{10}O)$$

Ferner wird sich eine Flüssigkeit, welche bei der Elementaranalyse denselben Gehalt an C, H und O geben würde wie das Glycerin $C_3H_8O_3$ auf folgende Arten erhalten lassen:

1 Aeq. Propionsäure + 1 Aeq. Wasser
$$C_3H_6O_2 + H_2O = C_3H_8O_3$$
1 Aeq. Aethylalkohol + 1 Aeq Ameisensäure
$$C_2H_6O + CH_2O_2 = C_3H_8O_3$$
1 Aeq. Methylalkohol + 1 Aeq. Essigsäure
$$CH_4O + C_2H_4O_2 = C_3H_8O_3$$

Endlich kann z. B. durch Mischen aequivalenter Mengen von Bittermandelöl und Ameisensäure eine Substanz

von der Zusammensetzung der Methylsalicylsäure $C_8 H_8 O_3$ dargestellt werden:

1 Aeq. Bittermandelöl + 1 Aeq. Ameisensäure
$C_7 H_6 O + CH_2 O_2 = C_8 H_8 O_3$

Ich habe diese Mischungen nach den angegebenen Aeq.-Verhältnissen dargestellt und ihre Brechungsindices sowie die specifischen Gewichte bei der Temperatur 20° bestimmt. Es ergaben sich dabei folgende Zahlen (Tab. III), welche ich mit den Beobachtungen für die wirklichen chemischen Verbindungen, deren Zusammensetzung das Gemenge hat sowie für dessen Componenten in Vergleichung stelle.

Tabelle III.

	d	μ_α	μ_β	μ_γ	$\frac{\mu_\alpha - 1}{d}$	$P\left(\frac{\mu_\alpha - 1}{d}\right)$
1 Aeq. Essigsäure	1,0514	1,3699	1,3765	1,3802		
1 Aeq. Buttersäure	0,9610	1,3955	1,4025	1,4065		
Mischung	0,9930	1,3851	1,3918	1,3956	0,3878	28,69
Propionsäure	0,9963	1,3846	1,3913	1,3951	0,3860	28,57
3 Aeq. Methylalkohol	0,7964	1,3279	1,3332	1,3362		
1 Aeq. Amylalkohol	0,8135	1,4057	1,4128	1,4169		
Mischung	0,8038	1,3640	1,3700	1,3735	0,4528	20,83
Aethylalkohol	0,8011	1,3605	1,3667	1,3700	0,4501	20,70
2 Aeq. Aethylalkohol	0,8011	1,3605	1,3667	1,3700		
1 Aeq. Amylalkohol	0,8135	1,4057	1,4128	1,4169		
Mischung	0,8065	1,3822	1,3887	1,3925	0,4738	28,43
Propylalkohol	0,8042	1,3794	1,3858	1,3893	0,4717	28,30
1 Aeq. Aethylalkohol	0,8011	1,3605	1,3667	1,3700		
2 Aeq. Amylalkohol	0,8135	1,4057	1,4128	1,4169		
Mischung	0,8104	1,3961	1,4028	1,4068	0,4887	36,17
Butylalkohol	0,8074	1,3940	1,4007	1,4045	0,4879	36,11
1 Aeq. Propionsäure	0,9963	1,3846	1,3913	1,3951		
1 Aeq. Wasser	1,0000	1,3311	1,3371	1,3404		
Mischung	1,0220	1,3856	1,3925	1,3964	0,3773	34,71
1 Aeq. Aethylalkohol	0,8011	1,3605	1,3667	1,3700		
1 Aeq. Ameisensäure	1,2211	1,3693	1,3764	1,3804		
Mischung	0,9602	1,3610	1,3675	1,3710	0,3760	34,59

	d	μ_α	μ_β	μ_γ	$\frac{\mu_\alpha - 1}{d}$	$P\left(\frac{\mu_\alpha - 1}{d}\right)$
1 Aeq. Methylalkohol	0,7964	1,3279	1,3332	1,3362		
1 Aeq. Essigsäure	1,0514	1,3699	1,3765	1,3802		
Mischung	0,9606	1,3594	1,3656	1,3692	0,3741	34,42
Glycerin	1,2615	1,4706	1,4785	1,4828	0,3731	34,32
1 Aeq. Bittermandelöl	1,0474	1,5391	1,5624	1,5775		
1 Aeq. Ameisensäure	1,2211	1,3693	1,3764	1,3804		
Mischung	1,0876	1,4900	1,5089	1,5210	0,4505	68,48
Methylsalicylsäure	1,1824	1,5302	1,5521	1,5672	0,4484	68,16

Ein Blick auf die obige Tabelle III zeigt, dafs das specifische Brechungsvermögen und somit auch das Refractionsaequivalent der chemischen Verbindungen in überraschendem Grade zusammenfällt mit demjenigen der gleich zusammengesetzten Gemenge. Diefs ist am auffallendsten bei den Glycerinmischungen, wo die Atomgruppirung eine vollständig verschiedene ist, und auch Dichte und Brechungsindices der einzelnen Gemenge erheblich von einander abweichen. Es darf jedoch nicht übersehen werden, dafs in allen Fällen eine gewisse, wenn auch nur kleine Differenz zwischen dem specifischen Brechungsvermögen der Mischung und Verbindung auftritt, indem bei der erstern die Zahlen constant etwas gröfser sind als bei der letztern [1]). Eine vollständige Identität findet also in obiger Beziehung nicht statt, wohl aber stets eine grofse Annäherung.

Es ergiebt sich somit auch bei diesen Flüssigkeiten, wie früher bei den eigentlichen isomeren Substanzen, dafs das specifische Brechungsvermögen hauptsächlich bedingt ist durch das Aequivalentverhältnifs der Elemente, die Atomgruppirung dagegen nur einen geringen Einflufs auf dasselbe ausübt. Dafs ein solcher aber dennoch in gewissen Fällen vorhanden ist, geht aus den nachfolgenden Untersuchungen über homologe Reihen hervor.

1) Bei Anwendung der Formel $\frac{n^2 - 1}{d}$ statt der oben benutzten ergeben sich ganz die nämlichen Resultate.

Homologe Reihen.

Berthelot [1]) hat zuerst Betrachtungen über das specifische Brechungsvermögen der Glieder homologer Reihen angestellt. Auf Grund noch sehr beschränkten Versuchsmaterials fand er, dafs Körper, deren chemische Formeln um $n.CH_2$ verschieden sind, eine Differenz von n . 18 Einheiten in der Gröfse $P\left(\frac{n^2-1}{d}\right)$ zeigen. Schrauf [2]) sucht aus Beobachtungen von Delffs nachzuweisen, dafs bei der Reihe $C_nH_{2n}O_2$ das Refractionsaequivalent $P\left(\frac{n^2-1}{d}\right)$ eines Gliedes das Mittel ist aus den Refractionsaequivalenten zweier gleich weit von demselben entfernter Glieder, und stellt den Satz auf, dafs bei homologen Reihen die optischen Eigenschaften der Glieder eine homologe Bildungsweise besitzen sollen. Dale und Gladstone [3]) begnügen sich darzuthun, dafs für das Increment CH_2 das specifische Brechungsvermögen $\frac{n-1}{d}$ stets zunimmt.

Unter den von mir untersuchten Substanzen findet sich eine gröfsere Anzahl Körper, welche homologe Reihen mit der Zusammensetzungsdifferenz CH_2 bilden. Ich stelle in der nachfolgenden Tabelle IV die für dieselben erhaltenen Zahlenresultate zusammen:

1) *Ann. de chim. et de phys.* [3] *T. XLVIII, p.* 342
2) *Pogg.* Ann. Bd. 119, S. 461.
3) *Phil. Transact.* 1863, *p.* 317.

Tabelle IV.

	Formel	P	d	μ_α	$\frac{\mu_\alpha - 1}{d}$	Diff.	$P\left(\frac{\mu_\alpha - 1}{d}\right)$	Diff.
I. Säuren $C_n H_{2n} O_2$.								
Ameisensäure	$C H_2 O_2$	46	1,2211	1,3693	0,3024	0,0494	13,91	7,20
Essigsäure	$C_2 H_4 O_2$	60	1,0514	1,3699	0,3518	0,0342	21,11	7,46
Propionsäure	$C_3 H_6 O_2$	74	0,9963	1,3846	0,3860	0,0256	28,57	7,65
Buttersäure	$C_4 H_8 O_2$	88	0,9610	1,3955	0,4116	0,0203	36,22	7,83
Valeriansäure	$C_5 H_{10} O_2$	102	0,9313	1,4022	0,4319	0,0130	44,05	7,56
Capronsäure	$C_6 H_{12} O_2$	116	0,9252	1,4116	0,4449	0,0120	51,61	7,79
Oenanthylsäure	$C_7 H_{14} O_2$	130	0,9175	1,4192	0,4569		59,40	
II. Alkohole $C_n H_{2n+2} O$.								
Methylalkohol	$C H_4 O$	32	0,7964	1,3279	0,4117	0,0384	13,17	7,53
Aethylalkohol	$C_2 H_6 O$	46	0,8011	1,3605	0,4501	0,0216	20,70	7,60
Propylalkohol	$C_3 H_8 O$	60	0,8042	1,3794	0,4717	0,0162	28,30	7,81
Butylalkohol	$C_4 H_{10} O$	74	0,8074	1,3940	0,4879	0,0108	36,11	7,78
Amylalkohol	$C_5 H_{12} O$	88	0,8135	1,4057	0,4987		43,89	

		-	d	μ_α	$\frac{\mu_\alpha - 1}{d}$	Diff.	$P\left(\frac{\mu_\alpha - 1}{d}\right)$	Diff.
III. Zusammengesetzte Aether $C_n H_{2n} O_2$.								
Essigs. Methyl . . .	$C_3 H_6 O_2$	74	0,9053	1,3592	0,3967	0,0143	29,36	6,81
Essigs. Aethyl . . .	$C_4 H_8 O_2$	88	0,9015	1,3705	0,4110		36,17	
Butters. Methyl . . .	$C_5 H_{10} O_2$	102	0,8976	1,3869	0,4311	0,0113	43,97	7,35
Butters. Aethyl . . .	$C_6 H_{12} O_2$	116	0,8906	1,3940	0,4424		51,32	
Valerians. Methyl . .	$C_6 H_{12} O_2$	116	0,8809	1,3927	0,4458	0,0096	51,71	7,49
Valerians. Aethyl . .	$C_7 H_{14} O_2$	130	0,8674	1,3950	0,4554		59,20	
Ameisens. Aethyl . .	$C_3 H_6 O_2$	74	0,9078	1,3580	0,3944	0,0166	29,18	6,99
Essigs. Aethyl . . .	$C_4 H_8 O_2$	88	0,9015	1,3705	0,4110		36,17	
Butters. Methyl . . .	$C_5 H_{10} O_2$	102	0,8976	1,3869	0,4311	0,0147	43,97	7,74
Valerians. Methyl . .	$C_6 H_{12} O_2$	116	0,8809	1,3927	0,4458		51,71	
Butters. Aethyl . . .	$C_6 H_{12} O_2$	116	0,8906	1,3940	0,4424	0,0130	51,32	7,88
Valerians. Aethyl . .	$C_7 H_{14} O_2$	130	0,8674	1,3950	0,4554		59,20	
Benzoës. Methyl . .	$C_8 H_8 O_2$	136	1,0882	1,5116	1,4701	0,0075	63,94	7,70
Benzoës. Aethyl . . .	$C_9 H_{10} O_2$	150	1,0491	1,5010	0,4776		71,64	
Aldehyd	$C_2 H_4 O$	44	0,7810	1,3298	0,4222	0,0281	18,58	7,54
Aceton	$C_3 H_6 O$	58	0,7931	1,3572	0,4503		26,12	

Aus Tabelle IV läfst sich Folgendes ersehen:

1. Die Brechungsindices der Glieder homologer Reihen nehmen mit steigender Anzahl der C und H-Atome zu [1]). Es können jedoch auch Fälle vorkommen, wo das Umgekehrte eintritt, so zeigt z. B. das benzoësaure Aethyl $C_9 H_{10} O_2$ einen kleinern Brechungsindex als das benzoësaure Methyl $C_8 H_8 O_2$ [2]).

1) Interesse bot es noch, die Brechungsexponenten der Glieder homologer Reihen bei der Temperatur ihrer Siedepunkte oder in gleichen Abständen davon zu vergleichen. Da das specifische Brechungsvermögen $\frac{n-1}{d} = R$ eine bei allen Temperaturen gleich bleibende Constante seyn soll, so mufs, wenn das specifische Gewicht einer Flüssigkeit bei ihrem Siedepunkte (d_s) bekannt ist, wenigstens annähernd der Brechungsindex für diese Temperatur (μ_s) sich aus:

$$\mu_s = 1 + R \,.\, d_s$$

ergeben. Für diejenigen Säuren der Reihe $C_n H_{2n} O_2$, deren Ausdehnung von Kopp bestimmt worden war, ist nachstehend diese Berechnung in Bezug auf μ_α (Col. I) ausgeführt; die specifischen Gewichte wurden bezogen auf Wasser von 0° als Einheit und für R die aus den Beobachtungen bei 20° erhaltene Constante benutzt. Aehnliche Zahlen ergeben sich, wenn man direct aus den Werthen, welche ich für die Veränderung der Brechungsexponenten der Säuren (Pogg. Ann. Bd. 117 S. 353) angegeben habe, die Indices bei der Temperatur der Siedepunkte bestimmt (Col II). Auf beiden Wegen gelangt man zu ziemlich übereinstimmenden Zahlen, welche zeigen, dafs die Brechungsindices der Säuren bei correspondirenden Temperaturen viel weniger von einander verschieden sind, als bei ein und demselben Wärmegrade.

	Siedepunkt	μ_α beim Siedepunkt		μ_α bei 20°
		I.	II.	
Ameisensäure	100°	1,338	1,338	1,369
Essigsäure	118	1,330	1,329	1,370
Propionsäure	140	1,333	1,336	1,385
Buttersäure	162	1,334	1,337	1,396
Valeriansäure	174	1,337	1,339	1,402
Capronsäure	199		1,340	1,412
Oenanthylsäure	219		1,341	1,419

2) In Bezug auf die Dichte der Glieder homologer Reihen läfst sich aus Tabelle IV noch ersehen, dafs dieselbe für den Zuwachs an CH_2 bei den verschiedenen Gruppen in ungleichem Sinne sich ändert. Sie nimmt z. B. bei den Säuren $C_n H_{2n} O_2$ mit dem Steigen der Glieder fort-

2. Das specifische Brechungsvermögen vergröfsert sich stets mit dem Steigen der Reihe. Die Differenzen für das Increment CH_2 bleiben sich nicht gleich, sondern werden um so kleiner, je mehr die Zahl der C und H-Atome in den Gliedern wächst.

3. Das Refractionsaequivalent $P\left(\frac{\mu_\alpha - 1}{d}\right)$ nimmt in allen Fällen für die Zusammensetzungsdifferenz CH_2 um eine ziemlich gleich bleibende Gröfse zu. Für diese kann im Mittel die Zahl 7,60 gesetzt werden.

Anstatt Reihen von Körpern zu bilden, deren chemische Formeln um CH_2 von einander abweichen, kann man auch solche von andern Zusammensetzungsdifferenzen combiniren, und erhält auch hier in den Refractionsaequivalenten wieder bestimmte Unterschiede. Es tritt dabei aber meist der Fall ein, dafs Substanzen zusammen gelangen, die obgleich in ihren empirischen Formeln die nämliche Differenz zeigend, doch durchaus nicht homolog sind, sondern in sehr verschiedenen chemischen Beziehungen zu einander stehen. Bei solchen Zusammenstellungen ist es nun oft möglich, bis zu einem gewissen Grade mit Bestimmtheit einen Einflufs der ungleichartigen chemischen Constitution der Körper auf das Licht nachzuweisen, und zwar mit Hülfe der Formel $P\left(\frac{n-1}{d}\right)$. Man erkennt nämlich dafs Körper von gleicher Zusammensetzungsdifferenz nur dann in den Refractionsaequivalenten einen ganz übereinstimmenden Unterschied zeigen, wenn sie stets in derselben chemischen Relation zu einander sich befinden. Die Ursachen der Uebereinstimmung oder Abweichung in den betreffenden Zahlen werden klar, sowie man rationelle chemische Formeln zu Grunde legt, und zwar geben hierbei die typischen vollkommenen Aufschlufs.

während ab, und dasselbe ist der Fall bei den zusammengesetzten Aethern $C_n H_{2n} O_2$. Bei den Alkoholen von der allgemeinen Formel $C_n H_{2n+2} O$ bemerkt man dagegen eine stetige Vermehrung der Dichte für die Zunahme an Kohlenstoff und Wasserstoff.

Unter dem vorhandenen Beobachtungsmaterial befinden sich z. B. mehre Verbindungen, deren empirische Formeln die Differenz CH_2O zeigen. Dieselben lassen sich in drei Gruppen eintheilen, in denen je in zwei Körper, wie aus ihren typischen Formeln hervorgeht, in analogem chemischen Verhältnisse zu einander stehen. Vergleicht man die Differenzen in den Refractionsaequivalenten, so stellen sich dieselben als beinahe vollkommen identisch heraus bei Körpern von der gleichen Gruppe, zwischen den verschiedenen Gruppen bemerkt man dagegen, wenn auch nur kleine, doch unverkennbar hervortretende Unterschiede.

Tabelle V. Zusammensetzungsdifferenz CH_2O.

	Empirische Formel	Typische Formel	$P\left(\frac{\mu_\alpha - 1}{d}\right)$	Diff.
Aldehyd	C_2H_4O	$\left.{C_2H_3O \atop H}\right\}$	18,58	9,99
Propionsäure	$C_3H_6O_2$	$\left.{C_3H_5O \atop H}\right\}O$	28,57	
Aceton	C_3H_6O	$\left.{C_2H_3O \atop CH_3}\right\}$	26,12	10,10
Buttersäure	$C_4H_8O_2$	$\left.{C_4H_7O \atop H}\right\}O$	36,22	
Valeral	$C_5H_{10}O$	$\left.{C_5H_9O \atop H}\right\}$	41,54	10,07
Capronsäure	$C_6H_{12}O_2$	$\left.{C_6H_{11}O \atop H}\right\}O$	51,61	
Essigsäure	$C_2H_4O_2$	$\left.{C_2H_3O \atop H}\right\}O$	21,11	10,70
Milchsäure	$C_3H_6O_3$	$\left.{C_3H_4O'' \atop H_2}\right\}O_2$	31,81	
Methylalkohol	CH_4O	$\left.{CH_3 \atop H}\right\}O$	13,17	10,60
Aethylenalkohol	$C_2H_6O_2$	$\left.{C_2H_4'' \atop H_2}\right\}O_2$	23,77	
Aethylenalkohol	$C_2H_6O_2$	$\left.{C_2H_4'' \atop H_2}\right\}O_2$	23,77	10,55
Glycerin	$C_3H_8O_3$	$\left.{C_3H_5''' \atop H_3}\right\}O_3$	34,32	

	Empirische Formel	Typische Formel	$P\left(\frac{\mu_\alpha - 1}{d}\right)$	Diff.
Bittermandelöl	$C_7\ H_6\ O$	$\left.\begin{matrix} C_7\ H_5\ O \\ H \end{matrix}\right\}$	54,56	9,38
Benzoës. Methyl	$C_8\ H_8\ O_2$	$\left.\begin{matrix} C_7\ H_5\ O \\ C\ H_3 \end{matrix}\right\} O$	63,94	
Salicylige Säure	$C_7\ H_6\ O_2$	$\left.\begin{matrix} C_7\ H_4\ O'' \\ H_2 \end{matrix}\right\} O$	58,90	9,26
Methylsalicylsäure	$C_8\ H_8\ O_3$	$\left.\begin{matrix} C_7\ H_4\ O'' \\ C\ H_3 . H \end{matrix}\right\} O_2$	68,16	

Wie wir früher gesehen haben, besitzen isomere Verbindungen nahe übereinstimmende Refractionsaequivalente, sie werden daher einander in Bezug auf die eben angeführten Verhältnisse ersetzen können. Substituirt man z. B. in Tabelle IV bei der Reihe der Säuren $C_n H_{2n} O_2$ ein Glied, durch eine mit demselben isomere Aetherart, so zeigt diese doch mit den angränzenden Gliedern im Refractionsaequivalent wieder ungefähr die Differenz 7,6 für $C H_2$. In Tabelle V sieht man, dafs Aceton und Buttersäure dieselbe Differenz für $C H_2 O$ geben, wie Aldehyd und Propionsäure oder Valeral und Capronsäure, obschon die chemische Relation zwischen den zwei erstern Körpern nicht ganz genau die nämliche ist, wie bei den beiden andern Paaren. An Stelle des Acetons $\left.\begin{matrix} C_2\ H_3\ O \\ C\ H_3 \end{matrix}\right\}$ müfste Propylaldehyd $\left.\begin{matrix} C_3\ H_5\ O \\ H \end{matrix}\right\}$ stehen; die chemische Constitution dieser zwei mit einander isomeren Körper ist indefs eine ähnliche, sie gehören beide dem Typus $\left.\begin{matrix} H \\ H \end{matrix}\right\}$ an, und so werden ihre Refractionsaequivalente so nahe übereinstimmen, dafs eine gegenseitige Vertretung möglich ist. Bis zu einem gewissen Grade übt also die verschiedene Atomlagerung keinen merklichen Einflufs auf die angeführten Beziehungen, nämlich dann, wenn die einander ersetzenden isomeren Substanzen sich auf den nämlichen chemischen Typus beziehen; sie äufsert sich aber, wie die Tabelle V zeigt

sogleich, sowie das typische Verhältnifs zweier Körper gegenseitig ein anderes wird.

Ganz die nämlichen Erscheinungen lassen sich noch vielfach erkennen, wenn man Körper von gleichen chemischen Formeldifferenzen zusammenstellt, falls nur die Beobachtungen die nöthige Genauigkeit besitzen. Von solchen Betrachtungen führe ich als die am meisten Interesse darbietenden noch diejenigen an, welche sich auf die Ermittelung der Refractionsaequivalente der Elemente C, H, O selbst beziehen. In der nachfolgenden Tabelle VI sind je zwei Körper combinirt, deren Formeln blofs eine Differenz von 1 Atom C zeigen, während die Atomzahl der übrigen Elemente dieselbe bleibt; Tabelle VII enthält Substanzen von der Zusammensetzungsdifferenz H_2, und Tabelle VIII endlich Körper, von welchen der eine stets 1 Atom O mehr enthält als der andere. Diejenigen Körper, welche in dem nämlichen typischen Verhältnifs zu einander stehen, sind jedesmal in eine Gruppe zusammengefafst. Die sehr stark brechenden Substanzen wurden aus einem später zu erörternden Grunde von den übrigen ausgeschieden, und am Schlusse jeder Tabelle für sich hingestellt.

Tabelle VI. Zusammensetzungsdifferenz 1 Atom C.

	Empirische Formel	Typische Formel	d	μ_α	$\frac{\mu_\alpha - 1}{d}$	$P\left(\frac{\mu_\alpha - 1}{d}\right)$	Diff.
Methylalkohol	$C\ H_4\ O$	$\left.\begin{matrix}C\ H_3\\ H\end{matrix}\right\}O$	0,7964	1,3279	0,4117	13,17	5,41
Aldehyd	$C_2\ H_4\ O$	$\left.\begin{matrix}C_2H_3O\\ H\end{matrix}\right\}$	0,7810	1,3298	0,4222	18,58	
Aethylalkohol	$C_2\ H_6\ O$	$\left.\begin{matrix}C_2H_5\\ H\end{matrix}\right\}O$	0,8011	1,3605	0,4501	20,70	5,42
Aceton	$C_3\ H_6\ O$	$\left.\begin{matrix}C_2H_3O\\ CH_3\end{matrix}\right\}$	0,7931	1,3572	0,4503	26,12	
Butylalkohol	$C_4\ H_{10}\ O$	$\left.\begin{matrix}C_4H_9\\ H\end{matrix}\right\}O$	0,8074	1,3940	0,4879	36,11	5,43
Valeral	$C_5\ H_{10}\ O$	$\left.\begin{matrix}C_5H_9O\\ H\end{matrix}\right\}$	0,7995	1,3861	0,4830	41,54	
Aethylenalkohol	$C_2\ H_6\ O_2$	$\left.\begin{matrix}C_2H_4''\\ H_2\end{matrix}\right\}O_2$	1,1092	1,4253	0,3834	23,77	4,80
Propionsäure	$C_3\ H_6\ O_2$	$\left.\begin{matrix}C_3H_5O\\ H\end{matrix}\right\}O$	0,9963	1,3846	0,3860	28,57	
Milchsäure	$C_3\ H_6\ O_3$	$\left.\begin{matrix}C_3H_4O''\\ H_2\end{matrix}\right\}O_2$	1,2427	1,4392	0,3534	31,81	4,75
Essigsäureanhydrid	$C_4\ H_6\ O_3$	$\left.\begin{matrix}C_2H_3O\\ C_2H_3O\end{matrix}\right\}O$	1,0836	1,3883	0,3584	36,56	

	Empirische Formel	Typische Formel	d	μ_α	$\frac{\mu_\alpha - 1}{d}$	$P\left(\frac{\mu_\alpha - 1}{d}\right)$	Diff.
Phenylsäure	$C_6 H_6 O$	$\left.\begin{matrix}C_6 H_5\\ H\end{matrix}\right\} O$	1,0722	1,5445	0,5078	47,73	6,83
Bittermandelöl	$C_7 H_6 O$	$\left.\begin{matrix}C_7 H_5 O\\ H\end{matrix}\right\}$	1,0474	1,5391	0,5147	54,56	

Tabelle VII. Zusammensetzungsdifferenz 2 Atome H.

	Empirische Formel	Typische Formel	d	μ_α	$\frac{\mu_\alpha - 1}{d}$	$P\left(\frac{\mu_\alpha - 1}{d}\right)$	Diff.
Aldehyd	$C_2 H_4 O$	$\left.\begin{matrix}C_2 H_3 O\\ H\end{matrix}\right\}$	0,7810	1,3298	0,4222	18,58	2,12
Aethylalkohol	$C_2 H_6 O$	$\left.\begin{matrix}C_2 H_5\\ H\end{matrix}\right\} O$	0,8011	1,3605	0,4501	20,70	
Aceton	$C_3 H_6 O$	$\left.\begin{matrix}C_2 H_3 O\\ C H_3\end{matrix}\right\}$	0,7931	1,3572	0,4503	26,12	2,18
Propylalkohol	$C_3 H_8 O$	$\left.\begin{matrix}C_3 H_7\\ H\end{matrix}\right\} O$	0,8042	1,3794	0,4717	28,30	
Valeral	$C_5 H_{10} O$	$\left.\begin{matrix}C_5 H_9 O\\ H\end{matrix}\right\}$	0,7995	1,3861	0,4830	41,54	2,35
Amylalkohol	$C_5 H_{12} O$	$\left.\begin{matrix}C_5 H_{11}\\ H\end{matrix}\right\} O$	0,8135	1,4057	0,4987	43,89	

	Empirische Formel	Typische Formel	d	μ_α	$\frac{\mu_\alpha - 1}{d}$	$P\left(\frac{\mu_\alpha - 1}{d}\right)$	Diff.
Essigsäure	$C_2 H_4 O_2$	$\left.\begin{matrix}C_2H_3O\\H\end{matrix}\right\}O$	1,0514	1,3699	0,3518	21,11	2,66
Aethylenalkohol	$C_2 H_6 O_2$	$\left.\begin{matrix}C_2H_4{}''\\H_2\end{matrix}\right\}O_2$	1,1092	1,4253	0,3834	23,77	
Milchsäure	$C_3 H_6 O_3$	$\left.\begin{matrix}C_3H_4O''\\H_2\end{matrix}\right\}O_2$	1,2427	1,4392	0,3534	31,81	2,51
Glycerin	$C_3 H_8 O_3$	$\left.\begin{matrix}C_3H_5{}'''\\H_3\end{matrix}\right\}O_3$	1,2615	1,4706	0,3731	34,32	

Tabelle VIII. Zusammensetzungsdifferenz 1 Atom O.

	Empirische Formel	Typische Formel	d	μ_α	$\frac{\mu_\alpha - 1}{d}$	$P\left(\frac{\mu_\alpha - 1}{d}\right)$	Diff.
Aldehyd	$C_2 H_4 O$	$\left.\begin{matrix}C_2H_3O\\H\end{matrix}\right\}$	0,7810	1,3298	0,4222	18,58	2,53
Essigsäure	$C_2 H_4 O_2$	$\left.\begin{matrix}C_2H_3O\\H\end{matrix}\right\}O$	1,0514	1,3699	0,3518	21,11	
Aceton	$C_3 H_6 O$	$\left.\begin{matrix}C_2H_3O\\CH_3\end{matrix}\right\}$	0,7931	1,3572	0,4503	26,12	2,45
Propionsäure	$C_3 H_6 O_2$	$\left.\begin{matrix}C_3H_5O\\H\end{matrix}\right\}O$	0,9963	1,3846	0,3860	28,57	
Valeral	$C_5 H_{10} O$	$\left.\begin{matrix}C_5H_9O\\H\end{matrix}\right\}$	0,7995	1,3861	0,4830	41,54	2,51
Valeriansäure	$C_5 H_{10} O_2$	$\left.\begin{matrix}C_5H_9O\\H\end{matrix}\right\}O$	0,9313	1,4022	0,4319	44,05	

	Empirische Formel	Typische Formel	d	μ_α	$\frac{\mu_\alpha - 1}{d}$	$P\left(\frac{\mu_\alpha - 1}{d}\right)$	Diff.
{ Aethylalkohol	$C_2\ H_6\ O$	$\left.\begin{matrix} C_2H_5 \\ H \end{matrix}\right\} O$	0,8011	1,3605	0,4501	20,70	3,07
{ Aethylenalkohol	$C_2\ H_6\ O_2$	$\left.\begin{matrix} C_2H_4'' \\ H_2 \end{matrix}\right\} O_2$	1,1092	1,4253	0,3834	23,77	
{ Propionsäure	$C_3\ H_6\ O_2$	$\left.\begin{matrix} C_3H_5\ O \\ H \end{matrix}\right\} O$	0,9963	1,3846	0,3860	28,57	3,24
{ Milchsäure	$C_3\ H_6\ O_3$	$\left.\begin{matrix} C_3H_4\ O'' \\ H_2 \end{matrix}\right\} O_2$	1,2427	1,4392	0,3534	31,81	
{ Bittermandelöl	$C_7\ H_6\ O$	$\left.\begin{matrix} C_7H_5\ O \\ H \end{matrix}\right\}$	1,0474	1,5391	0,5147	54,56	4,35
{ Salicylige Säure	$C_7\ H_6\ O_2$	$\left.\begin{matrix} C_7H_4\ O'' \\ H_2 \end{matrix}\right\} O$	1,1693	1,5647	0,4829	58,91	
{ Benzoës. Methyl	$C_8\ H_8\ O_2$	$\left.\begin{matrix} C_7H_5\ O \\ CH_3 \end{matrix}\right\} O$	1,0882	1,5116	0,4701	63,94	4,22
{ Methylsalicylsäure	$C_8\ H_8\ O_3$	$\left.\begin{matrix} C_7H_4\ O'' \\ H.CH_3 \end{matrix}\right\} O_2$	1,1824	1,5302	0,4484	68,16	

Betrachtet man zunächst die Körper, welche sich durch 1 Atom C von einander unterscheiden, so ergiebt sich Folgendes: Dichte und auch in den meisten Fällen der Brechungsexponent, nehmen für das Zutreten des Kohlenstoffatoms um eine geringe Gröfse ab. Das specifische Brechungsvermögen $\frac{n-1}{d}$ zeigt keine Regelmäfsigkeit, es erleidet bald eine kleine Vermehrung bald Verminderung. Bestimmte Beziehungen treten dagegen in den Refractionsaequivalenten hervor, indem sich ergiebt, dafs dieselben für den Zuwachs an 1 Atom C bei jeder Gruppe um einen stets sehr nahe übereinstimmenden Werth zunehmen.

Körper, welche in ihrer Zusammensetzung um 2 Atome H sich unterscheiden, lassen erkennen, dafs für das Zutreten dieses Elements sich Dichte, Brechungsexponent und specifisches Brechungsvermögen stets erhöhen, und ebenso im Refractionsaequivalent eine bestimmte Vermehrung eintritt.

Ein Zuwachs von 1 Atom O bewirkt endlich stets eine Vergröfserung der Dichte und des Brechungsexponenten, dagegen eine Verminderung des specifischen Brechungsvermögens. Das Refractionsaequivalent nimmt auch hier um Werthe zu, welche bei den verschiedenen Gruppen von Körpern sich einander sehr nähern.

Weiter benutzbare Resultate liefert bei diesen Zusammenstellungen blofs das Refractionsaequivalent $P\left(\frac{n-1}{d}\right)$. Es zeigt dasselbe für das Zutreten jedes Elementes stets eine bestimmte Vergröfserung, die aber wie sich leicht nachweisen läfst, wieder beeinflufst wird von der chemischen Constitution der Substanzen. Man erkennt nämlich, dafs je zwei Körper, welche sich um ein gleiches Atom unterscheiden, stets dann eine beinahe vollkommen identische Differenz im Refractionsaequivalente zeigen, wenn die chemischen Typen von welchen sich dieselben ableiten, gegenseitig immer die nämlichen bleiben. So ergiebt sich z. B. aus Tabelle VI in Bezug auf die 1 At. C entsprechenden Differenzen im Refractionsaequivalent, dafs diese den über-

einstimmenden Werth 5,41 bis 5,43 annehmen, wenn die beiden Körper einatomig sind, und der eine davon sich stets auf den Typus $\left.\begin{matrix}H\\H\end{matrix}\right\}O$, der andere auf den Typus $\left.\begin{matrix}H\\H\end{matrix}\right\}$ bezieht. Z. B.

$\left.\begin{matrix}CH_3\\H\end{matrix}\right\}O$	$\left.\begin{matrix}C_2H_3O\\H\end{matrix}\right\}$
Methylalkohol	Aldehyd
$\left.\begin{matrix}C_2H_5\\H\end{matrix}\right\}O$	$\left.\begin{matrix}C_2H_3O\\CH_3\end{matrix}\right\}$
Aethylalkohol	Aceton

usw.

Die Differenz wird dagegen sogleich eine andere (4,75 bis 4,80) bei Combination von einatomigen mit zweiatomigen Verbindungen, welche folgenden beiden Typen angehören:

$\left.\begin{matrix}H_2\\H_2\end{matrix}\right\}O_2$	$\left.\begin{matrix}H\\H\end{matrix}\right\}O$

z. B.

$\left.\begin{matrix}C_3H_4O''\\H_2\end{matrix}\right\}O_2$	$\left.\begin{matrix}C_2H_3O\\C_2H_3O\end{matrix}\right\}O$
Milchsäure	Essigsäureanhydrid
$\left.\begin{matrix}C_2H_4''\\H_2\end{matrix}\right\}O_2$	$\left.\begin{matrix}C_3H_5O\\H\end{matrix}\right\}O$
Aethylenalkohol	Propionsäure

Aehnliche Beziehungen lassen sich in Bezug auf die Wasserstoff- und Sauerstoffdifferenzen nachweisen; auch hier sieht man, daſs bei Vergleichung bloſs einatomiger Verbindungen untereinander stets etwas andere Zahlen für die Refractionsaequivalente der Elemente resultiren, als wenn diese durch Zusammenstellung von einatomigen mit mehratomigen Körpern abgeleitet werden.

Von den obigen Verhältnissen zeigen in allen Fällen eine geringe Abweichung die mit starkem Brechungs- und Zerstreuungsvermögen begabten Flüssigkeiten, wie Bittermandelöl, salicylige Säure usw. Hier ist es der Einfluſs der Dispersion, welcher die Störung veranlaſst, und in der

That kann dieselbe schon sehr verringert werden, wenn bei den Rechnungen statt des Brechungsexponenten ($\mu_{,,}$) der Refractionscoëfficient A der Cauchy'schen Formel $\mu = A + \frac{B}{\lambda^2}$ zu Grunde gelegt wird. Ganz verschwinden indefs auch hierbei die Unregelmäfsigkeiten nicht, was erklärlich ist, da auf diese Substanzen, wie in der ersten Abhandlung erwähnt, die Cauchy'sche Formel sich nicht mehr in genügendem Grade anwenden läfst.

Ich bemerke noch, dafs sämmtliche der vorhergehenden Rechnungen auch mit Zugrundelegung der Formel $\frac{A^2 - 1}{d}$ ausgeführt worden sind, und dafs hierbei in Bezug auf den Einflufs der chemischen Constitution den Obigen sich ganz analoge Resultate herausgestellt haben.

Refractionsaequivalente der Elemente.

Aus den in Tabelle VI, VII und VIII gegebenen Zusammenstellungen haben sich Zahlen ableiten lassen, die man als die Refractionsaequivalente, welche den Elementen C, H und O in ihren flüssigen ternären Verbindungen zukommen, betrachten kann. Bei jedem Elemente ergaben sich für gewisse Gruppen seiner Verbindungen constante Werthe, die nicht modificirt wurden durch die Atomzahl der übrigen Elemente, welche mit demselben verbunden waren. So resultirte z. B. für den Kohlenstoff in einatomigen Körpern übereinstimmend die Zahl 5,4, gleichgültig aus welchen C, H und O-haltigen Verbindungen dieselbe berechnet wurde. Dagegen zeigte sich ein Einflufs der chemischen Constitution, in der Art, dafs man annehmen mufs, dafs die Refractionsaequivalente der Elemente C, H, O in einatomigen Verbindungen etwas andere Werthe besitzen als in mehratomigen.

Sieht man ab von diesem Einflufs der chemischen Constitution, welcher immerhin nur ein sehr geringer ist, und nimmt aufserdem blofs auf die schwächer brechenden Körper Rücksicht, so bewegen sich die gefundenen Refractions-

aequivalente für 1 Atom C, H, O zwischen folgenden Gränzen:

	Mittel
C = 4,75 bis 5,43	5,09
H = 1,06 bis 1,33	1,20
O = 2,45 bis 3,24	2,85

Mit diesen übereinstimmende Werthe lassen sich noch auf folgendem Wege erhalten:

Aus den frühern Betrachtungen über homologe Reihen hat sich ergeben, dafs der Zusammensetzungsdifferenz nCH_2 ein mittlerer Unterschied von $n\,7{,}60$ im Refractionsaequivalente entspricht.

Zieht man zunächst von den Refractionsaequivalenten der Säuren $C_n H_{2n} O_2 = nCH_2 + O_2$ die Werthe für nCH_2 ab, so bleibt als Rest für O_2 im Mittel die Zahl 6,00, also O = 3,00.

Das Refractionsaequivalent des Wasserstoffs ergiebt sich indem von den Refractionsaequivalenten der Alkohole $C_n H_{2n+2} O = nCH_2 + H_2 + O$ die Werthe für $nCH_2 + O$ abgezogen werden. Es resultirt im Mittel $H_2 = 2{,}60$, oder $H = 1{,}30$.

Die Differenz $CH_2 - H_2 = 7{,}60 - 2{,}60$ liefert endlich das Refractionsaequivalent für C = 5,00.

Für die Folge behalte ich die auf dem letztern Wege festgestellten Refractionsaequivalente bei, nämlich:

$$C = 5{,}00$$
$$H = 1{,}30$$
$$O = 3{,}00$$

Es fragt sich nun, wie diese Zahlen sich verhalten zu den Refractionsaequivalenten, welche den Elementen in ihrem freien Zustande angehören. Leider sind aber die vorhandenen, zu deren Berechnung erforderlichen Beobachtungen, namentlich in Bezug auf den Diamanten, noch zu wenig sicher, um dieselben genau feststellen zu können. Benutzt man folgende Daten:

Diamant: $\mu_{roth} = 2{,}434$ (Schrauf); $d = 3{,}55$; $P = 12$
Wasserstoff: $\mu = 1{,}000138$ (Dulong); $d = 0{,}06927$ (Regnault); $P = 1$
Sauerstoff: $\mu = 1{,}000272$ (Dulong); $d = 1{,}10561$ (Regnault); $P = 16$,

so ergiebt sich, wenn die specifischen Gewichte der beiden Gase durch Division mit 773 auf Wasser als Einheit bezogen werden, das Refractionsaequivalent $P\left(\frac{n-1}{d}\right)$ von:

$$C = 4{,}85$$
$$H = 1{,}54$$
$$O = 3{,}04.$$

Wie man sieht findet eine überraschende Annäherung dieser Zahlen an die Obigen statt, und es scheint demnach dafs die Elemente C, H und O in ihren Verbindungen ganz die nämlichen Refractionsaequivalente und demnach auch dasselbe specifische Brechungsvermögen besitzen, wie im freien Zustande.

Berechnung der Brechungsexponenten C, H, O-haltiger Körper aus denjenigen ihrer Bestandtheile.

Ehe ich dazu übergehe die Brechungsindices einer C, H und O haltigen Verbindung aus deren Elementen abzuleiten, ist es nöthig vorher kurz die Berechnung der Brechungsexponenten von Mischungen in Betracht zu ziehen. Bekanntlich ist dieser Gegenstand schon mehrfach behandelt worden; es haben Grailich, A. und E. Weifs, Hoek Schrauf und Andere, Formeln aufgestellt, welche mit mehr oder weniger Annäherung die Brechungsindices eines flüssigen Gemenges aus denjenigen der Bestandtheile mit Hinzuziehung der Dichte und der volum- oder gewichtsprocentischen Zusammensetzung zu berechnen erlauben. Indem ich eine nähere Anführung dieser Versuche übergehe, will ich sogleich behufs des Weitern zeigen, dafs die bekannte, zuerst von Biot und Arago bei den Gasen angewandte Formel:

$$\frac{N^2-1}{D}P = \frac{n^2-1}{d}p + \frac{n^2_1-1}{d_1}p_1 + \ldots$$

wo N der Brechungsindex, D die Dichte und P das Gewicht der Mischung, ferner $nn_1 \ldots$; $dd_1 \ldots$; $pp_1 \ldots$ die entsprechenden Werthe für die Bestandtheile bedeuten, bei Veränderung in:

$$\frac{N-1}{D}P = \frac{n-1}{d}p + \frac{n_1-1}{d_1}p_1 + \ldots \quad (I)$$

mit den Beobachtungen in einer sehr vollständigen Weise in Uebereinstimmung steht. Ich benutze zum Nachweis für die Brauchbarkeit dieser letztern, bei Flüssigkeiten bisher noch nicht angewandten Formel, einige der früher in Tabelle III angegebenen Mischungen, und berechne die Brechungindices derselben in nachstehender Tabelle IX aus der Gleichung:

$$N = 1 + \frac{\frac{n-1}{d}p + \frac{n_1-1}{d_1}p_1}{p+p_1}.$$

Die Rechnung wurde in Bezug auf den Brechungsindex $N = \mu_\alpha$ ausgeführt.

Tabelle IX.

	p	beobachtet		berechnet
		d	μ_α	μ_α
Methylalkohol	96	0,7964	1,3279	
Amylalkohol	88	0,8135	1,4057	
Mischung	184	0,8038	1,3640	1,3644
Aethylalkohol	92	0,8011	1,3605	
Amylalkohol	88	0,8135	1,4057	
Mischung	180	0,8065	1,3822	1,3821
Aethylalkohol	46	0,8011	1,3605	
Amylalkohol	176	0,8135	1,4057	
Mischung	222	0,8104	1,3961	1,3960
Essigsäure	60	1,0518	1,3706	
Buttersäure	88	0,9610	1,3953	
Mischung	148	0,9930	1,3850	1,3847

	p	beobachtet		berechnet
		d	μ_α	μ_α
Aethylalkohol	46	0,8011	1,3605	
Ameisensäure	46	1,2211	1,3693	
Mischung	92	0,9602	1,3610	1,3612
Bittermandelöl	106	1,0474	1,5391	
Ameisensäure	46	1,2211	1,3693	
Mischung	152	1,0876	1,4900	1,4900

Wie wir in den frühern Kapiteln gesehen haben, ist das specifische Brechungsvermögen einer aus C, H und O bestehenden Verbindung wesentlich blofs abhängig von der durch die empirische Formel ausgedrückten Zusammensetzung derselben; der Einflufs der chemischen Constitution erwies sich als ein verhältnifsmäfsig sehr geringer. Es ist daher erlaubt, die für die Mischungen gefundenen Regeln auch auf die chemischen Verbindungen überzutragen, und zu versuchen die Brechungsindices derselben aus den Elementen abzuleiten [1]).

Ist die Zusammensetzung einer chemischen Verbindung durch eine empirische Formel ausgedrückt, so ergiebt sich bekanntlich das Gewichtsverhältnifs der Elemente durch Multiplication der Atomgewichte $g g_{,} g_{,,} \ldots$ derselben mit der Zahl $m m_{,} m_{,,} \ldots$ der Atome. Die frühere Gleichung (I) wird daher:

$$\frac{N-1}{D} P = \frac{n-1}{d} g m + \frac{n_{,}-1}{d_{,}} g_{,} m_{,} + \frac{n_{,,}-1}{d_{,,}} g_{,,} m_{,,} + \ldots \qquad \text{(II)}$$

wo $P = g m + g_{,} m_{,} + g_{,,} m_{,,}$ das Atomgewicht der Verbindung darstellt.

Die Producte aus specifischem Brechungsvermögen $\frac{n-1}{d}$ und Atomgewicht, also die Werthe:

$$\frac{N-1}{D} P = R; \quad \frac{n-1}{d} g = r; \quad \frac{n_{,}-1}{d_{,}} g_{,} = r_{,} \text{ usw.}$$

haben wir früher als Refractionsaequivalente bezeichnet. Sind diese für die verschiedenen Elemente festgestellt, so

1) Vergl. Schrauf, Pogg. Ann. Bd. 119 S. 461 und 553.

hat man daher zur Berechnung des Refractionsaequivalents R einer Verbindung, welche aus m Atomen eines ersten Elements, $m_{,}$ Atomen eines zweiten und $m_{,,}$ Atomen eines dritten besteht, einfach die Gleichung:

$$R = mr + m_{,}r_{,} + m_{,,}r_{,,}$$

d. h. das Refractionsaequivalent einer Verbindung wird erhalten durch Bildung der Summe der Refractionsaequivalente der sie constituirenden Atome. Es berechnet sich also das Refractionsaequivalent auf dieselbe Weise wie das chemische Aequivalent.

Für die drei Elemente C, H, O wurden im vorhergehenden Kapitel die Refractionsaequivalente in Bezug auf den Brechungsindex μ_α ermittelt, und es ergaben sich dabei folgende Zahlen, welche ich mit den Atomgewichten, die ihnen zu Grunde liegen, zusammenstelle:

	Atomgewicht.	Refractionsaequivalent.
Ͼ	12	5,00
H	1	1,30
Θ	16	3,00

Verändert man die Atomgewichte, nimmt also z. B. wie meist gebräuchlich diejenigen für C und O nur halb so grofs an wie eben, so müssen selbstverständlich auch die Refractionsaequivalente halbirt werden, und man hat dann:

	Atomgewicht.	Refractionsaequivalent.
C	6	2,50
H	1	1,30
O	8	1,50

Für Alkohol z. B. ist demnach die Berechnung des Refractionsaequivalents je nach den Atomgewichten, welche der chemischen Formel zu Grunde liegen, folgende:

$$Ͼ_2 H_6 Θ = 2(5{,}00) + 6(1{,}30) + 1(3{,}00) = 20{,}80$$

$$\text{oder } C_4 H_6 O_2 = 4(2{,}50) + 6(1{,}30) + 2(1{,}50) = 20{,}80$$

Ist auf diese Weise das Refractionsaequivalent R einer Verbindung ermittelt worden, so leitet sich, wenn die Dichte D und das Atomgewicht P derselben bekannt sind, der Brechungsindex n ab aus:

$$n = 1 + \frac{R}{P} D.$$

Mittelst der obigen drei sehr einfachen Zahlen lassen sich für eine Menge aus C, H und O bestehender flüssiger Verbindungen die Brechungsindices bezogen auf die rothe Wasserstofflinie mit sehr befriedigender Annäherung berechnen, und zwar passen die gegebenen Constanten sowohl auf ein- als auch mehratomige Verbindungen; der Einflufs der chemischen Constitution bleibt also unberücksichtigt. Blofs auf stark lichtbrechende Substanzen können, wie aus früher angegebenen Gründen folgt, dieselben nicht mehr angewandt werden.

In der nachfolgenden Tabelle X sind für eine gröfsere Anzahl Körper die Brechungsexponenten aus der chemischen Zusammensetzung abgeleitet. Die Tabelle enthält nächst der für die Substanz ermittelten Dichte d das berechnete Refractionsaequivalent zusammengestellt mit dem aus den Beobachtungen abgeleiteten, und ferner den berechneten Brechungsindex in Parallele mit dem gefundenen:

Tabelle X.

	Formel	d	$P\left(\frac{\mu_\alpha - 1}{d}\right)$		μ_α	
			berechnet	beobachtet	berechnet	beobachtet
Methylalkohol	$C\ H_4\ O$	0,7964	13,20	13,17	1,328	1,328
Aethylalkohol	$C_2\ H_6\ O$	0,8011	20,80	20,70	1,362	1,361
Propylalkohol	$C_3\ H_8\ O$	0,8042	28,40	28,30	1,381	1,379
Butylalkohol	$C_4\ H_{10}\ O$	0,8074	36,00	36,11	1,393	1,394
Amylalkohol	$C_5\ H_{12}\ O$	0,8135	43,60	43,89	1,403	1,406
Ameisensäure	$C\ H_2\ O_2$	1,2211	13,60	13,91	1,361	1,369
Essigsäure	$C_2\ H_4\ O_2$	1,0514	21,20	21,11	1,371	1,370
Propionsäure	$C_3\ H_6\ O_2$	0,9963	28,80	28,57	1,388	1,385
Buttersäure	$C_4\ H_8\ O_2$	0,9610	36,40	36,22	1,397	1,396
Valeriansäure	$C_5\ H_{10}\ O_2$	0,9313	44,00	44,05	1,402	1,402
Capronsäure	$C_6\ H_{12}\ O_2$	0,9252	51,60	51,61	1,412	1,412
Oenanthylsäure	$C_7\ H_{14}\ O_2$	0,9175	59,20	59,40	1,418	1,419
Essigsaures Methyl	$C_3\ H_6\ O_2$	0,9053	28,80	29,36	1,352	1,359
Ameisens. Aethyl	$C_3\ H_6\ O_2$	0,9078	28,80	29,18	1,353	1,358
Essigsaures Aethyl	$C_4\ H_8\ O_2$	0,9021	36,40	36,17	1,373	1,371

	Formel	d	$P\left(\frac{\mu_{\alpha}-1}{d}\right)$ berechnet	$P\left(\frac{\mu_{\alpha}-1}{d}\right)$ beobachtet	μ_{α} berechnet	μ_{α} beobachtet
Buttersaures Methyl	$C_5\ H_{10}\ O_2$	0,8976	44,00	43,97	1,387	1,387
Ameisens. Amyl	$C_6\ H_{12}\ O_2$	0,8816	51,60	52,09	1,392	1,396
Butters. Aethyl	$C_6\ H_{12}\ O_2$	0,8906	51,60	51,32	1,396	1,394
Valerians. Methyl	$C_6\ H_{12}\ O_2$	0,8809	51,60	51,71	1,392	1,393
Valerians. Aethyl	$C_7\ H_{14}\ O_2$	0,8674	59,20	59,20	1,395	1,395
Valerians. Amyl	$C_{10}\ H_{20}\ O_2$	0,8581	82,00	82,14	1,409	1,410
Aldehyd	$C_2\ H_4\ O$	0,7810	18,20	18,58	1,326	1,330
Aceton	$C_3\ H_6\ O$	0,7931	25,80	26,12	1,353	1,357
Valeral	$C_5\ H_{10}\ O$	0,7995	41,00	41,54	1,381	1,386
Aethyläther	$C_4\ H_{10}\ O$	0,7166	36,00	36,26	1,349	1,351
Essigsäureanhydrid	$C_4\ H_6\ O_3$	1,0836	36,80	36,56	1,391	1,388
Aethylenalkohol	$C_2\ H_6\ O_2$	1,1092	23,80	23,77	1,426	1,425
Glycerin	$C_3\ H_8\ O_3$	1,2615	34,40	34,32	1,472	1,471
Milchsäure	$C_3\ H_6\ O_3$	1,2427	31,80	31,81	1,439	1,439

Einige weitere chemisch interessante Folgerungen welche sich aus den obigen Resultaten ableiten lassen, gedenke ich in einer nächsten Mittheilung in Betracht zu ziehen.

VI. *Nachtrag zu dem Aufsatz: Neue Methode, das Wärmeleitungsvermögen der Körper zu bestimmen;*
von A. J. Ångström.

---

§. 1.

Die Methode zur Bestimmung der Wärmeleitungsvermögen der Körper, welche ich in den Verhandlungen der K. Akademie der Wissenschaften zu Stockholm von 1861 auseinandersetzte [1]), unterscheidet sich von früheren Versuchen ähnlicher Art dadurch, dafs sie die genannte Constante *unabhängig von der Strahlung aus der Oberfläche*

1) Pogg. Ann. Bd. CXIV, S. 513.

zu bestimmen sucht und dieselbe in der *specifischen Wärme* der Körper ausdrückt. Seitdem haben Forbes [1]) und Neumann [2]) zu demselben Behufe Methoden veröffentlicht, die aber beide von der meinigen ganz und gar verschieden sind. Das Problem hat also eine mehrfache Lösung gefunden und die Uebereinstimmung der auf verschiedenen Wegen erlangten Resultate dürfte eine gute Controle für die Richtigkeit derselben abgeben.

Was indefs die von mir vorgeschlagene Methode, meiner Meinung nach, besonders charakterisirt ist:

1, dafs man ganz und gar unabhängig ist von der *Temperatur des umgebenden Mediums*;

2, dafs man bei der Berechnung nicht auf eine *einzige* Temperaturablesung beschränkt ist, sondern *allen innerhalb der Periode angestellten Beobachtungen ein zugehöriges Stimmrecht ertheilt;*

3, dafs man sich *unabhängig macht von dem Scalenwerth der angewandten Thermometer*;

4, dafs man durch Veränderung der Länge der Periode nicht nur das erlangte Resultat *controliren* kann, sondern auch die *Methode eben so anwendbar macht auf kurze Stäbe wie sie es ist auf lange;*

5, dafs diese Methode sich nicht blofs auf starre Körper, sondern auch auf *flüssige* mit Vortheil anwenden läfst. (Siehe §. 4).

§. 2.

Der Leser wird sich erinnern, dafs die in Rede stehende Methode in periodischen Erhitzungen und Erkältungen besteht, welche, an dem einen Ende des Stabes bewerkstelligt, sich wellenartig in diesem Stabe fortpflanzen. Durch gleichzeitige in jeder Minute gemachte Temperaturbeobachtungen an zwei in einem gegebenen Abstand von einander in den Stab versenkten Thermometern erhält man Kenntnifs von der Verbreitung der Wärme in dem Stabe. *Alle* innerhalb der Periode gemachten Temperaturbeobachtungen

1) *Edinb. Transact. Vol. XXIII p.* 133.

2) *Ann. de chim. et de phys. Ser. III T. LXVI. p.* 183.

werden nach der Methode der kleinsten Quadrate behandelt, und somit erhält man die Temperatur für *jeden* Punkt des Stabes ausgedrückt durch eine Reihe von der Form:

$$u = m + A \sin\left(2\pi \frac{t}{T} + \alpha\right) + B \sin\left(4\pi \frac{t}{T} + \beta\right)$$
$$+ C \sin\left(6\pi \frac{t}{T} + \gamma\right) \quad (1)$$

aus deren Constanten alsdann das Leitungsvermögen bestimmt wird.

Die Anwendbarkeit der Methode mufs Jedem, der mit ähnlichen Aufgaben etwas vertraut ist, scheint mir, leicht verständlich seyn. Da es sich aber gezeigt, dafs wirklich Mifsverständnisse entstehen können; so mag es mir erlaubt seyn, hier einige Erläuterungen zu geben, welche die Frage auf ihren richtigen Standpunkt stellen.

Bei den periodischen Erhitzungen und Erkältungen eines Metallstabes müssen natürlich, in dem Maafse als diese regelmäfsig vor sich gehen, alle Glieder der obigen Reihe unmerklich werden, mit Ausnahme des ersten:

$$A \sin\left(2\pi \frac{t}{T} + \alpha\right)$$

und folglich ist es nur der Coëfficient A und das Argument α für jeden Beobachtungspunkt des Stabes, welche im Allgemeinen bei der Berechnung mit Vortheil angewandt werden können. Die folgenden Glieder müssen, wegen ihrer Kleinheit, natürlicherweise höchst unzuverlässige Werthe für das gesuchte Leitungsvermögen geben. Nun aber ist es ja ferner allgemein bekannt, dafs, wenn man mittelst der Methode der kleinsten Quadrate dieses aus den A und α des ersten Gliedes berechnet, man dazu *alle* innerhalb der ersten Periode gemachten Beobachtungen anwendet, ebenso wie *alle* zur Berechnung aus den B und β des zweiten Gliedes, falls es hinzugezogen wird, angewandt werden usw. woraus also ersichtlich, dafs die Genauigkeit der *berechneten* Coëfficienten in keiner Weise darauf beruhen kann, dafs mehr oder weniger Glieder hinzugezogen werden.

Aus diesem Grunde habe ich auch bei Berechnung mei-

meiner Versuche im Allgemeinen nur das besagte erste Glied benutzt. Eine Ausnahme davon habe ich zwar bei einer Beobachtungsreihe gemacht [1]), aber blofs um die Richtigkeit der Relation zu controliren, welche die Theorie als stattfindend zwischen den Constanten der verschiedenen Glieder in der Reihe (1) nachweist.

Es ist nämlich natürlich, dafs sich auch hier bestätigen mufs, was ich schon vor 13 Jahr rücksichtlich der Wärmefluctuationen in den obersten Erdschichten unter der periodischen Einwirkung der Sonne nachgewiesen habe [2]), dafs jedes Glied der Reihe (1) betrachtet werden kann als eine Wärmewelle, die sich je nach der Länge der Periode mit verschiedener Geschwindigkeit fortpflanzt, und dafs diese Glieder, nicht blofs *jedes für sich*, einen vollständigen Werth von $\frac{k}{c}$ geben, sondern auch daneben in *einer bestimmten mathematischen Abhängigkeit von einander* stehen, so dafs die einen Constanten und Argumente aus den anderen berechnet werden können.

Die Beobachtungsreihe [3]), mittelst welcher ich nun den eben genannten Satz verificiren will, hat ungewöhnlich *grofse* Amplituden, und aus diesem Grunde kann sowohl das zweite, als das dritte Glied angewandt werden, um die mathematische Abhängigkeit zwischen den Gliedern nachzuweisen. Dabei erhält man:

$$f = 1{,}6046 \qquad \Delta\alpha = 24^\circ\, 48',7$$
$$f' = 1{,}9425 \qquad \Delta\beta = 36\;\; 38,5$$
$$f'' = 2{,}0654 \qquad \Delta\gamma = 42\;\;\; 4,5$$

und nach der Formel sollte man haben:

$$f = f'^{\frac{1}{\sqrt{2}}} = f''^{\frac{1}{\sqrt{3}}} \quad \ldots\ldots \quad (a)$$

so wie

$$\Delta\alpha = \frac{\Delta\beta}{\sqrt{2}} = \frac{\Delta\gamma}{\sqrt{3}} \quad \ldots\ldots \quad (a)'$$

1) Pogg. Ann. Bd. CXIV S. 525.

2) *Mém. sur la temperature de la terre* (*Nova Acta R. Soc. Sc. Upsal. Ser. III Vol. I. p.* 210.

3) Pogg. Ann. Bd. CXIV S. 525.

Hierbei hat sich jedoch ein Fehler eingeschlichen, auf welchen ich erst bei Lesung des Berichts von meinen Versuchen in den *Annales de chimie et de physique* aufmerksam gemacht wurde [1]). In der Formel (4) habe ich nämlich die Gröfsen g und g' gleich grofs in *allen* Gliedern angenommen [2]), obwohl deren Werthe repräsentirt werden müssen durch:

$$g_n = \sqrt{\sqrt{\frac{\pi^2}{K^2 T^2} + \frac{H^2}{4n^2 K^2}} + \frac{H}{2nK}}$$

und

$$g'_n = \sqrt{\sqrt{\frac{\pi^2}{K^2 T^2} + \frac{H^2}{4n^2 K^2}} - \frac{H}{2nK}}$$

Die Gröfsen f, f' und f'' müssen also eigentlich den Gleichungen genügen:

$$f = f'^{\frac{1}{\sqrt{2}}} . e^{(g_1 - g_2)'} = f''^{\frac{1}{\sqrt{3}}} . e^{(g_1 - g_3)'} \quad . \quad . \quad (b).$$

Die numerischen Werthe wären nach Gleichung (a):

$$f = 1{,}6046; \; f'^{\frac{1}{\sqrt{2}}} = 1{,}5994; \; f''^{\frac{1}{\sqrt{3}}} = 1{,}5201$$

würden aber nach (b)

$$f = 1{,}6046;$$

$$f'^{\frac{1}{\sqrt{2}}} e^{(g_1 - g_2)'} = 1{,}5994 \times 1{,}0086 = 1{,}6131$$

$$f''^{\frac{1}{\sqrt{3}}} e^{(g_1 - g_3)'} = 1{,}5201 \times 1{,}0113 = 1{,}537.$$

Ebenso müssen die Argumente den Gleichungen genügen:

$$\Delta\alpha = \frac{\Delta\beta}{\sqrt{2}} . e^{(g_1 - g_2)'} = \frac{\Delta\gamma}{\sqrt{3}} . e^{(g_1 - g_3)'} \quad . \, . \, (b)'.$$

Nach $(a)'$ hatte ich gefunden:

$$\Delta\alpha = 24^\circ\, 48',7; \; \frac{\Delta\beta}{\sqrt{2}} = 25^\circ\, 55'; \; \frac{\Delta\gamma}{\sqrt{3}} = 24^\circ\, 19'$$

1) *Ann. de chim. et de phys. Sér. III T. LXVII p.* 379.
2) Pogg. Ann. Bd. CXIV S. 516.

Nach $(b)'$ erhalte ich:

$$\Delta\alpha = 24^\circ\ 48',7$$

$$\frac{\Delta\gamma}{\sqrt{2}} \cdot e^{(g_1 - g_2)'} = 25^\circ\ 55' \times 0,9882 = 25^\circ\ 37'$$

$$\frac{\Delta\gamma}{\sqrt{3}} \cdot e^{(g_1 - g_3)'} = 24^\circ\ 19' \times 0,9851 = 23^\circ\ 58'.$$

Hieraus ergiebt sich also: 1) dafs die Voraussage der Theorie über den mathematischen Zusammenhang zwischen den Constanten der verschiedenen Glieder sich so genau bewährt als man billigerweise fordern kann, und 2) dafs die von mir bei der früheren Berechnung angewandte Formel, obwohl nicht vollkommen correct, sich doch als hinreichend approximativ betrachten läfst, da der Unterschied zwischen den nach der einen oder anderen Weise erhaltenen Werthen innerhalb der Gränzen der Beobachtungsfehler liegt.

Handelte es sich ferner darum, den Werth von $\frac{k}{c}$ aus den höheren Gliedern zu berechnen, so müfste — da der Unterschied zwischen der älteren und neueren Formel sich darauf beschränkt, dafs in der einen H steht und in der anderen statt dessen $\frac{H}{n}$, auch dafs H in dem Schlufswerth von $\frac{k}{c}$ fortfällt, — *identisch* dasselbe Resultat erhalten werden, welche der Formeln man auch anwenden möge.

Veranlassung zu diesen Bemerkungen, welche wahrscheinlich für die Meisten, welche einige Kenntnisse von den hier vorkommenden Theorien besitzen, vollkommen überflüssig gewesen wäen, habe ich erhalten durch eine in den *»Fortschritten der Physik«* [1]) erschienene Recension meiner Abhandlung.

Nach dem Recensenten ist die Uebereinstimmung der angeführten Werthe f, f' und f'' »nur ein merkwürdiger Zufall« und er beruft sich darauf, dafs eine unrichtige Formel angewandt sey. Allein, dafs diefs eine ganz falsche Behauptung ist, ersieht man aus dem schon Angeführten. Er

1) Fortschritte der Physik im J. 1861, Jahrg. VII, S. 403.

erklärt ferner den berechneten Werth von $\frac{k}{c}$ für unrichtig und zwar aus folgenden Gründen:

1) Sagt der Hr. Recensent, dafs eine fehlerhafte Formel angewendet sey. Hierbei hilft es nichts, dafs die fehlerhaften Glieder *niemals angewendet wurden*, und dafs sie sogar, *wenn* sie angewendet werden, wie oben erwähnt, einen richtigen Werth von $\frac{k}{c}$ geben.

2) Behauptet der Hr. Recensent, dafs es »durchaus« nicht erlaubt sey, das Glied zu vernachlässigen, welches darauf beruht, dafs der Stab nicht unendlich lang ist. Hierauf ist die Antwort, dafs es immer Gebrauch war und auch »durchaus« erlaubt ist, Glieder zu vernachlässigen, welche auf das Resultat der Berechnung keinen Einflufs ausüben. Nun war bei den kurzen Stäben der Abstand zwischen den von der Wärmequelle entfernteren Thermometer und dem Ende des Stabes ungefähr 400^{mm}. Man kann nun die Gröfse der Amplituden am Ende des Stabes bestimmen und sodann mit dieser Amplitude zurückgehen zu den Beobachtungspunkten; so findet man leicht, dafs die Glieder, welche wachsen mit dem Abstand von der Wärmequelle, unmerklich seyn müssen an den beiden Beobachtungspunkten des Stabes. Auch wenn man keine solche Berechnung anstellen will, kann man schon daraus, dafs die erhaltenen Werthe von

$$\frac{p}{c\delta}$$

übereinstimmten für Perioden, deren Länge von 12 bis 24 Minuten variirten, den Schlufs ziehen, dafs die Temperatur an dem Ende des Stabes keinen schädlichen Einflufs auf die Genauigkeit der Resultate gehabt hat. Uebrigens kann man immer, wie schon im Vorhergehenden gesagt worden, für die Perioden eine solche Länge wählen, dafs die Wärmefluctuationen so schnell abnehmen, dafs sie an dem Ende des Stabes ganz unmerklich werden.

3) Endlich bemerkt der Hr. Recensent, dafs ich blofs drei Glieder der Reihe (1) berechnete und diefs wenig

genau wäre. Aus dem Vorhergehenden erhellt jedoch, dafs ich im Allgemeinen nicht drei Glieder berechnete, sondern nur ein einziges, und dafs die Genauigkeit in den Werthen der Constanten dieses ersten Gliedes, aus denen sodann $\frac{k}{c}$ bestimmt wurde, nicht zunimmt, auch wenn man die Constanten der folgenden Glieder berechnet. Der Hr. Recensent scheint die Bedeutung des Ausdrucks »kleinste Quadratmethode« mifsverstanden zu haben, da er annimmt, die Anwendung derselben leite hier zu anderen Resultaten als die bekannte Methode durch gewisse bestimmte Integrale. Dafs diefs nicht der Fall ist, davon kann der Hr. Recensent sich überzeugen durch Bessel's Abhandlung: »*Ueber die Bestimmung des Gesetzes einer periodischen Erscheinung*[1]).

§. 3.

Ein Einwand, welcher möglicherweise gegen die Genauigkeit der Beobachtungsmethode erhoben werden und auf dem ersten Blick als von Gewicht erscheinen kann, ist: dafs die angewandten Stäbe von ziemlicher Dicke waren; die Differentialformeln setzen nämlich *einerlei* Temperatur in dem ganzen Querschnitt voraus, und die konnte hier strenge genommen nicht stattfinden, da die Stäbe von gröfseren Dimensionen waren.

Die erwähnte Differentialformel ist indefs von weitreichender Gültigkeit. Schon bei den von Despretz über die Wärmefortpflanzung in Wasser angestellten Versuchen zeigte es sich, dafs die Resultate der Beobachtungen dem Gesetze von der Abnahme der Temperatur nach einer geometrischen Reihe Genüge leisteten, obwohl die Temperatur in jedem Querschnitt vom Centrum nach der Peripherie abnahm, weshalb auch für den Fall, wo diesem Gesetze nicht genügt wird, die Ursache hiervon nicht in den Dimensionen der Stäbe gesucht werden kann. Im Allgemeinen, wenn man sich zwei Querschnitte in dem Stabe denkt mufs der Unterschied der Wärmemenge, welche dieselben

1) Schumacher's Astronom. Nachrichten Bd. VI, S. 333.

durchströmt, gleich seyn der Wärmemenge, welche von der dazwischen liegenden Oberfläche ausstrahlt. Ist nun die Temperatur der Oberfläche nicht gleich der Mitteltemperatur des Querschnitts, so mufs sie doch zu derselben in einem bestimmten Verhältnifs stehen, und die Zahl, welche dieses Verhältnifs ausdrückt, mufs auch für den zweiten Punkt des Stabes kleineren Variationen unterworfen seyn als es mit H selbst der Fall ist. In der Differentialformel braucht man sich also blofs H mit einer Constanten multiplicirt zu denken, damit die Formel auch für den Fall gelte, wo die Temperatur an der Oberfläche nicht vollkommen gleich ist der im Centrum des Querschnitts. Mit anderen Worten: die Gröfse H möge bedeuten was sie wolle, wenn sie nur ihren Werth innerhalb der Periode unverändert behält, so hat sie auf die Berechnung von $\frac{k}{c}$ keinen Einflufs, weil sie schliefslich aus der Gleichung herausfällt. Um direct hierüber Gewifsheit zu erlangen, habe ich Versuche mit einem Kupferstabe angestellt, dessen Oberfläche ein Mal vollkommen blank, und das andere Mal mit einer dicken Kienrufsschicht überzogen war. Die aus diesen beiden Versuchen erhaltenen Werthe von k waren identisch gleich.

Bei den Beobachtungen habe ich in die Stäbe versenkte Thermometer angewandt, statt des zuerst von Langberg und später von Wiedemann und Franz benutzten thermoelektrischen Elements, welches von ihnen an die *Oberfläche* angelegt ward. Ich sehe nicht, dafs ihre Beobachtungsweise einen wesentlichen Vorzug vor der alten besitze. Zwar kann man dabei dünne Stäbe anwenden, und die Temperatur kann deshalb weniger im Querschnitt variiren; allein durch Anlegung des thermo-elektrischen Elements entstehen andere Fehlerquellen, welche möglicherweise von gröfserer Bedeutung sind und in dem Maafse gröfser als die Stäbe von kleinen Dimensionen sind.

Schon in der früheren Abhandlung habe ich nämlich

gezeigt [1]), daſs man beim Uebergang der Wärme von einem Metall zum anderen dieselben Formeln für die Uebergangsfläche hat, wie bei der Elektricität:

$$u = u'$$

$$k \frac{du}{dx} = k' \frac{du'}{dx} \ldots \text{ }^{2})\text{.}$$

Eine Folge aus diesen Formeln ist: daſs wenn man einen schlechten Leiter, wie Wismuth oder Antimon, an einen Metallstab von besserem Leitungsvermögen anlegt, eine Steigerung der Temperatur in den Contactpunkten stattfindet, eine in demselben Maaſse gröſsere als der Unterschied zwischen dem Leitungsvermögen der Körper groſs ist. Hierin liegt auch der Grund, weshalb die von Wiedemann und Franz angewandte Methode sich unbrauchbar erweist zur Bestimmung des Wärme-Uebergangs von einem Metall zum andern.

1) *Recherches sur la conductibilité des corps pour la chaleur* (*Nova Acta R. Soc. Sc. Upsal. Ser. III T. III, p.* 60).

2) Unter den Resultaten, zu welchen ich in der genannten Abhandlung gelangt bin, mag es mir erlaubt seyn, folgende als von allgemeinerem Interesse anzuführen.

Wenn sich Wärme fortpflanzt von einem Leiter zu einem andern, als unendlich lang angenommen, und die Ausbreitung der Temperatur in dem ersteren wird repräsentirt durch:

$$u = a(e^{-mx} + \gamma e^{mx})$$

so bleibt der Werth von γ derselbe, bloſs mit *vertauschten* Zeichen die Wärme mag sich von dem besseren zum schlechteren fortpflanzen oder umgekehrt. Ferner ist es möglich, bloſs aus den Veränderungen welche die Wärmefortpflanzung in dem ersten Stabe durch den Contact mit dem zweiten erleidet (d. h. aus dem Werthe von γ) das Leitungsvermögen des letzteren zu berechnen.

Mein geehrter Recensent, Hr. D. findet auch in dieser Abhandlung vieles zu tadeln (*Fortschritte der Physik*, Jahrg. XVI, S. 384). Unter anderem hält er die berechneten Zahlen für »in auſserordentlichem Grade durch die Beobachtungsfehler afficirt« und er schlägt deshalb vor die Differentialcoëfficienten $\frac{du}{dx}$ und $\frac{du'}{dx}$ durch Interpolation zu berechnen. Diese seine Methode ist gewiſs bewundernswerth einfach, aber sie hat doch einen wesentlichen Fehler, — sie ist falsch.

§. 4.

Im letzt verflossenen Winter habe ich gesucht, die Wärmeleitung des *Quecksilbers* zu bestimmen, und ich benutze hier die Gelegenheit, das dabei gefundene Resultat mitzutheilen.

In ein Glasrohr von $37^{mm},6$ Durchmesser und $0^{mm},9$ Wanddicke wurden zwei Thermometer mit $2^{mm},6$ dicken cylindrischen Behältern eingesetzt. Das Rohr wurde in lothrechter Stellung befestigt, mit Quecksilber gefüllt und dessen oberste Schicht in Contact gesetzt mit einem zur Seite gebogenen Metallcylinder, den man abwechselnd 12 Minuten lang mittelst einer Gaslampe erhitzte während anderer 12 Minuten durch Umrühren abkühlte. Die Thermometer wurden abwechselnd eine um die andere Minute beobachtet und nach Beendigung des Versuches wurde der gegenseitige Abstand derselben mittelst eines Kathetometers beobachtet; dieser ergab sich zu $48^{mm},37$.

Als Beweis vom Grade der Regelmäſsigkeit, mit welcher die Temperatur der Quecksilbersäule sich während der Periode veränderte, will ich die Beobachtungen für die drei Perioden anführen, welche den Berechnungen zum Grunde liegen.

Thermometer *A*.

	1^m	3^m	5^m	7^m	9^m	11^m	13^m	15^m	17^m	19^m	21^m	23^m
	48,50	44,35	38,90	33,40	28,50	24,50	24,66	28,27	33,27	38,53	44,22	48,57
	8,50	4,60	9,30	3,75	8,90	4,62	4,70	8,30	3,33	8,85	4,16	(8,40)
	8,22	4,57	9,16	3,66	8,50	4,50	4,60	8,25	3,33	8,77	4,18	8,52
Mittel:	48,41	44,51	39,12	33,60	28,63	24,54	24,65	28,27	33,31	38,72	44,19	48,50

Thermometer *B*.

	4^m	6^m	8^m	10^m	12^m	14^m	16^m	18^m	20^m	22^m	24^m	26^m
	58,20	57,62	56,50	55,00	53,37	52,22	51,80	52,25	53,27	54,70	56,27	57,32
	7,90	7,50	6,40	4,97	3,30	2,15	1,75	2,20	3,20	4,62	6,12	7,22
	7,80	7,40	6,30	4,83	3,25	2,05	1,72	2,15	3,20	4,63	6,20	7,22
Mittel:	57,90	57,57	56,37	54,93	53,30	52,14	51,77	52,22	53,23	54,65	56,19	57,27

Ich habe jede Reihe so niedergeschrieben, dafs sie mit Maximum-Temperaturen anfängt, weshalb — wie man aus den darüberstehenden Beobachtungszeiten ersieht — die Zahlenwerthe für das Thermometer *B* einer drei Minuten späteren Zeit angehören als die entsprechenden für *A* in derselben Columne; ferner sind die für *B* angegebenen Mittelwerthe auf die Weise berechnet, welche in dem

Aufsatz über das Leitungsvermögen des Kupfers und Eisens bei verschiedenen Temperaturen angegeben worden ist [1]).

Aus den berechneten Mittelwerthen erhält man für

Thermometer A 11,817 sin $(30n + 104^\circ\ 3',3)$

» B 3,029 sin $(30n + 43^\circ\ 18',5)$

wobei der Winkel unter dem Sinuszeichen für B um 45° verringert wurde.

Nun war überdiefs, das Verhältnifs zwischen den Thermometerscalen ein solches, dafs

$$\log n_A^0 = \log n_B^0 = 0{,}05557$$

woraus

$$\log f = 0{,}53553;\ \varDelta\alpha = 60^\circ\ 44',8$$

und folglich, wenn man annimmt:

$$\log \delta c = 9{,}65611$$

erhält man für das *Quecksilber*

$$k = 1{,}061 \text{ bei } + 50^\circ \text{ C.}$$

Der somit erhaltene Zahlenwerth für das Wärme-Leitungsvermögen des Quecksilbers stimmt ganz gut mit dem von mir früher gefundenen Werth derselben Constante für Kupfer und Eisen, vorausgesetzt, dafs man annimmt, die Werthe der Wärme-Leitungsvermögen dieser Körper stehen zu einander in demselben Verhältnifs wie die Werthe des Elektricitäts-Leitungsvermögens derselben Körper; und obwohl ich den oben für Quecksilber angegebenen Werth von k nicht für ganz definitiv halte, dürfte er doch bei wiederholten Versuchen keine merkliche Abänderung erleiden.

Ich habe auch einige vorläufige Versuche mit *Wasser* gemacht, aus denen mit Sicherheit hervorgeht, dafs die Methode auch hier anwendbar ist, obwohl der für das Quecksilber gebrauchte Apparat dabei nicht recht pafst. Es müfste dabei ein gröfserer Querschnitt der Wassersäule und ein kleinerer Abstand zwischen den Thermometern angewandt werden.

1) Pogg. Ann. Bd. CXVIII, S. 426.

VII. *Ueber Mohr's Hageltheorie; von A. Krönig.*

Meine meteorologischen Kenntnisse sind viel zu gering als dafs ich wagen möchte, die neue Hageltheorie Mohr's ihrem ganzen Umfange nach einer Beurtheilung zu unterziehen. Es kommen jedoch in der betreffenden Abhandlung [1]) einige Zahlen vor, welche aufserordentlich geeignet sind, sehr falsch aufgefafst zu werden. Diese Zahlen auf ihre richtige Bedeutung zurückzuführen, ist der Zweck der nachfolgenden Zeilen.

Mohr sagt auf Seite 93 seiner Abhandlung: »1 Grm. oder gleichbedeutend 1 Cubikcentimeter Wasser nimmt bei 100° C. und 760^{mm} Barometerstand ein Volumen von 1696 Cubikcentimetern, oder in runder Zahl das 1700fache Volumen ein. Bei jeder niederen Temperatur ist das Volumen bedeutend gröfser, zum Beispiel bei 0° C. 182323 hoch, bei 20° C. 58224 hoch [2])«. Hieraus schliefst nun Mohr mit vollem Rechte, dafs zum Beispiel bei dem Uebergange des gesättigten Wasserdampfes von 0° C. in flüssiges Wasser der Inhalt von 182323 Cubikfufs sich zu 1 Cubikfufs verdichte, dafs also bei dieser Condensation von Wasserdampf »eine ganz ungeheure Raumverminderung« stattfinde.

Allein die obigen Werthe beziehen sich nur auf *reinen* Wasserdampf oder überhaupt auf Wasserdampf, der unter dem Drucke des gesättigten reinen Wasserdampfes steht. Berücksichtigt man, dafs bei der Aufstellung einer Hageltheorie offenbar nur die Verhältnisse des mit Luft gemengten Wasserdampfes zu betrachten sind, so stellen sich für die Volumenverminderung bei der Condensation des Wasserdampfs ganz andere Werthe heraus und zwar aus zwei Gründen.

1) Pogg. Ann. Bd. 117, S. 89.
2) J. Müller, Lehrbuch der Physik, 1853. Bd. II, S. 503.

Erstens ist der mit Luft gemengte Wasserdampf selbstverständlich nicht rein. Um nicht einer zu großsen Allgemeinheit die Klarheit zu opfern, will ich mich zunächst auf gesättigten Wasserdampf von 0° C. beziehen, der unter dem Druck einer Atmosphäre sich befindet. Der Druck dieses Wasserdampfes würde, wenn er rein wäre, nach den Zahlen von Magnus [1]) $\frac{1}{168}$ Atmosphäre betragen. Ich glaube nun in einem früheren Aufsatze nachgewiesen zu haben [2]), dafs jeder luftförmige Körper unter jedem Drucke, mag dieser nun durch feste oder flüssige oder auch durch andere luftförmige Körper hervorgebracht seyn, dem Mariotte'schen Gesetze unterworfen bleibt. Demgemäfs mufs Wasserdampf, der aus dem Druck von $\frac{1}{168}$ Atmosphäre übergeht, auf $\frac{1}{168}$ seines früheren Volumens zusammengedrückt werden. Es nimmt also solcher Wasserdampf, wenn er unter dem Druck einer Atmosphäre steht, nicht 182323, sondern 1085 Mal soviel Raum ein wie das aus seiner Condensation entstehende Wasser.

Zweitens aber kann man, um die wirkliche Raumverminderung bei der Condensation des mit Luft gemengten Wasserdampfs kennen zu lernen, offenbar die Luft nicht unberücksichtigt lassen. Wenn aus einem Gemenge von 167 Maafs Luft und 1 Maafs Wasserdampf — die bei 0° C. unter dem Druck einer Atmosphäre mit Wasserdampf gesättigte Luft besteht eben aus einem solchen Gemenge — der Wasserdampf plötzlich vollständig verschwände und also nicht auf $\frac{1}{1085}$ seines früheren Volumens, sondern auf das Volumen Null sich reducirte, so würde nicht der Inhalt von 182323 Maafs zu 1, sondern der Inhalt von 168 zu 167 Maafs sich verkleinern. Will man das Volumen des condensirten Wasserdampfes nicht gleich Null setzen, so erhält man die Volumenverminderung von 168 zu $167\frac{1}{1085}$. Die von Mohr für den in Rede stehenden Fall angenommene Volumenverminderung ist demnach mehr als 181000 Mal zu grofs.

Der Druck des reinen gesättigten Wasserdampfes von

1) Pogg. Annalen Bd. 61, S. 247.

2) Seite 299 dies. Bd. d. Ann.

20° C. beträgt $\frac{1}{44}$ Atmosphäre. Die Luft, welche bei 20° C. unter dem Druck einer Atmosphäre mit Wasserdampf gesättigt ist, besteht aus einem Gemenge von 43 Maafs Luft und 1 Maafs Wasserdampf. Nimmt man an, dafs bei der Condensation des letzteren sein Volumen ganz verschwindet, so verwandeln sich 44 in 43 Maafs. Die von Mohr angenommene Verdichtung von 58224 zu 1 ist also nahe 57000 Mal so grofs, wie ihr wirklicher Werth.

Nach der oben citirten Stelle fährt Mohr fort: »Der gesättigte Wasserdampf dehnt sich bei abnehmendem Druck nach dem Mariotte'schen Gesetze aus; bei zunehmendem Druck verdichtet sich ein Theil Wasser und die Dichtigkeit des Dampfes bleibt ungeändert«. Auch diese Worte müssen mit Vorsicht aufgefafst werden, wenn sie sich nicht aus Wahrheit in Irrthum verwandeln sollen. Es ist wahr, dafs gesättigter Wasserdampf von 0° C., welcher, mit Luft von derselben Temperatur gemengt, unter dem Druck einer Atmosphäre steht, sobald man das Gemenge bei ungeänderter Temperatur auf das doppelte Volumen bringt, wobei sein Druck auf $\frac{1}{2}$ Atmosphäre sich erniedrigt, dem Mariotte'schen Gesetze gemäfs sich ausdehnt. Aber es ist nicht zu vergessen, dafs der Wasserdampf dabei nicht gesättigt bleibt. Ein bestimmter Raum kann bei einer bestimmten Temperatur im Maximum eine bestimmte Menge von Wasserdampf aufnehmen. Wenn 1 Liter Luft, welche bei 0° C. und unter dem Druck einer Atmosphäre mit Wasserdampf gesättigt ist, zu 2 Litern sich ausdehnt, so können diese 2 Liter jetzt auch zweimal soviel Wasserdampf aufnehmen, wie vorher das eine Liter.

Mohr fährt fort: »Bei einer Höhe, wo der Barometerstand nur mehr als die Hälfte des normalen, also 380^{mm} beträgt, hat der Wasserdampf die doppelte Ausdehnung der oben genannten Zahlen, also für 100° C. die 3400fache, für 0° die 364646 fache, für 20° C. die 116448 fache«. Von diesen drei Angaben ist also wieder nur die erste richtig. Dagegen findet bei der Condensation von Wasserdampf, welcher unter dem Druck einer halben Atmo-

sphäre die halbe Dichtigkeit des bei 0° gesättigten Wasserdampfes hat, nicht eine Volumenverminderung von 364646 zu 1 Maafs, sondern wieder die schon oben gefundene Volumenverminderung von 168 zu 167 Maafs statt. Man kann sich diefs leicht *a priori* klar machen. Man kann sich aber auch der in meinem früheren Aufsatz abgeleiteten Gleichung

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{C_1}{C_2}$$

bedienen. Betrachtet man hier, wie auch in den folgenden Berechnungen, die Luft immer als erste, den Wasserdampf als zweite Luftart, so hat man

$$p = C_1 + C_2 = \tfrac{1}{2},$$

$$C_2 = \frac{1}{168{,}2};$$

die Volumenveränderung wird also ausgedrückt durch das Verhältnifs

$$\frac{v_1 + v_2}{v_1} = \frac{C_1 + C_1}{C_1} = \frac{168}{167}.$$

Durch Berücksichtigung des von dem gebildeten flüssigen Wasser eingenommenen Volumens würde der Nenner dieses Bruches noch um einen höchst geringen Betrag vergröfsert, die Volumenverminderung also verkleinert werden. Die von Mohr hier angegebene Zahl 364646 ist also mehr als 362000 Mal zu grofs. Wenn dagegen Luft, die unter dem Druck einer Atmosphäre mit Wasserdampf sich gesättigt hat und darauf bei gleichbleibender Temperatur auf das Doppelte ihres vorigen Volumens ausgedehnt worden ist, ihren Wasserdampf plötzlich verlöre, so würden nicht, wie Mohr meint, 116448 Maafs in eins, sondern 44 Maafs in 43 sich verwandeln. Der von Mohr angegebene Werth ist also mehr als 113000 Mal zu grofs.

Nimmt man an, dafs die unter dem Druck einer halben Atmosphäre stehende Luft *gesättigten* Wasserdampf enthält, so ist der durch die Condensation des letzteren entstehende leere Raum etwas gröfser. Man hat dann bei 0° C.

$$p = \tfrac{1}{2},\ C_2 = \tfrac{1}{168},\ \text{also}$$

$$\frac{v_1 + v_2}{v_1} = \frac{p}{p - C_2} = \frac{84}{83}.$$

Bei 20° C. dagegen ist das Verhältnifs des Volumens von Luft und gesättigtem Wasserdampf zu dem Volumen der Luft gleich $\frac{22}{21}$.

Man kann zwar allerdings innerhalb des Temperaturintervalls von 0° bis 20° C. eine etwas beträchtlichere Volumenverminderung herausrechnen, wenn man aufser der Condensation des Wasserdampfs die gleichzeitige Zusammenziehung der Luft bei ihrer Abkühlung berücksichtigt. Vermittelst der in meiner früheren Abhandlung über die Concentration der Luftarten entwickelten Formeln kann man leicht folgende Aufgabe lösen.

Es seyen gegeben g_1 Gramme Luft. Diese seyen unter dem Drucke p und bei der Temperatur t'', welcher das Concentrationsmaximum C''_2 des Wasserdampfs entspricht, mit Wasserdampf gesättigt, und das Volumen dieses Luftgemenges betrage v'' Liter. Nunmehr werde das Luftgemenge bei gleich bleibendem Drucke auf die Temperatur t' abgekühlt, welcher das Concentrationsmaximum C'_2 des Wasserdampfs entspricht; sein Volumen betrage jetzt v' Liter, wobei das Volumen des condensirten Wasserdampfs zu Null angenommen wird. Man sucht den Werth des Quotienten $\frac{v''}{v'}$.

Bezeichnet man bei dem ersten Luftgemenge von der Temperatur t'' die Concentration der Luft durch C''_1, so hat man

$$C''_1 = \frac{g_1}{g_0 v''} : \frac{d_1}{p_0(1 + \alpha t'')},$$

folglich

$$v'' = \frac{g_1 p_0 (1 + \alpha t'')}{g_0 d_1 C''_1} = \frac{g_1 p_0 (1 + \alpha t'')}{g_0 d_1 (p - C''_2)}.$$

Ebenso findet man für das zweite Luftgemenge von der Temperatur t'

$$v' = \frac{g_1 p_0 (1 + \alpha t')}{g_0 d_1 (p - C'_2)}$$

und endlich

$$\frac{v''}{v'} = \frac{(1 + \alpha t'')(p - C'_2)}{(1 + \alpha t')(p - C''_2)}.$$

Setzt man hierin $p = 1$ Atmosphäre, $\alpha = \frac{11}{3000}$, $t = 20°$ C. $t' = 0°$ C., $C''_2 = \frac{1}{44}$, $C'_2 = \frac{1}{168}$, so erhält man

$$\frac{v''}{v'} = \frac{42251}{38700} = 1{,}09.$$

Wenn also eine gegebene Gewichtsmenge Luft unter dem Druck einer Atmosphäre zuerst bei 20° C. mit Wasserdampf gesättigt ist, dann aber bei gleichbleibendem Drucke auf 0° abgekühlt wird, so tritt eine Volumenverminderung von nahe 11 Maafs zu 10 Maafs ein.

Setzt man aber $p = \frac{1}{2}$ Atmosphäre, während alle übrigen Werthe ungeändert bleiben, so erhält man

$$\frac{v''}{v'} = \frac{20999}{18900} = 1{,}11.$$

Wenn also eine gegebene Gewichtsmenge Luft unter dem Druck einer halben Atmosphäre zuerst bei 20° C. mit Wasserdampf gesättigt ist, dann aber bei gleich bleibendem Drucke auf 0° abgekühlt wird, so tritt eine Volumenverminderung von nahe 10 Maafs zu 9 Maafs ein.

Wenn aber alle Werthe, welch Mohr für die bei der Condensation des Wasserdampfs eintretende Volumenverminderung angiebt, auf Voraussetzungen beruhen, welche bei der Regen- und Hagelbildung nicht erfüllt sind, so trifft derselbe Vorwurf auch die von mir als Correction der Mohr'schen angegebenen Werthe. Denn es ist in der Atmosphäre kein fremder Körper vorhanden, welcher entweder dem der Luft beigemengten Wasserdampf allein oder auch beiden Gemengtheilen zugleich Wärme zu entziehen vermag. Bedenkt man, dafs die in der Atmosphäre bei der Entstehung von Regen oder Hagel ins Spiel kommenden Temperaturveränderungen einzig und allein von der Vermengung verschiedener Luftmassen von ungleicher Temperatur herrühren, und dafs also die bei der Condensation des Wasserdampfs frei werdende Wärme nur von der mit dem Wasserdampf gemengten Luft aufgenommen werden kann, so gelangt man zu dem Resultat, dafs bei der Condensation des Wasserdampfs innerhalb der Atmosphäre überhaupt niemals eine Volumenverminderung, sondern vielmehr

immer eine Volumenvergröfserung eintritt. Ich denke, es kann mir nicht schwer werden, die Richtigkeit dieser Behauptung aufser Zweifel zu setzen.

Um diesen Nachweis zu führen, will ich mit der Lösung einiger einfacher Aufgaben beginnen. Es seyen gegeben g_1 Gramme Luft von der Temperatur t_1 und unter dem Druck einer Atmosphäre. Dieser Luft sollen Q Wärme-Einheiten zugeführt werden. Welche Volumenvermehrung wird die Luft dadurch erleiden?

g_1 Gramme Luft von normaler Dichtigkeit nehmen einen Raum von $\frac{g_1}{g_0}$ Liter ein, wenn g_0 das Gewicht eines Liters Luft von normaler Dichtigkeit bedeutet. Bei der Temperatur t_1 und unter dem Druck einer Atmosphäre nimmt dieselbe Luft den Raum $\frac{g_1}{g_0}(1 + \alpha t_1)$ ein. Die in dieser Luft enthaltene Wärmemenge, von 0° C. aus gerechnet, beträgt $g_1 t_1 s_1$ Wärme-Einheiten, wenn s_1 die specifische Wärme der Luft bei gleich bleibendem Druck vorstellt. Werden nun dieser Luft Q Wärme-Einheiten zugeführt, so ist ihre Wärmemenge $g_1 t_1 s_1 + Q$. Bezeichnet man ihre jetzige Temperatur durch t'_1, so ist

$$g_1 t'_1 s_1 = g_1 t_1 s_1 + Q$$

folglich

$$t'_1 = \frac{t_1 + Q}{g_1 s_1}$$

und das Volumen der Luft beträgt jetzt

$$\frac{g_1}{g_0}(1 + \alpha t'_1) = \frac{g_1}{g_0}\left(1 + \alpha t_1 + \frac{\alpha Q}{g_1 s_1}\right).$$

Die gesuchte Volumenvermehrung der Luft ist demnach gleich $\frac{\alpha Q}{g_1 s_1}$. Dieselbe ist also von der Menge der Luft, welcher die Wärme Q zugeführt wurde, sowie auch von der Anfangstemperatur der Luft unabhängig.

Es seyen ferner gegeben g_2 Gramme Wasserdampf von der Temperatur t_2 und unter dem Druck einer Atmosphäre. Diesem Wasserdampf sollen Q Wärme-Einheiten zugeführt werden. Welche Volumenvermehrung wird der Wasserdampf dadurch erleiden?

g_2 Gramme Wasserdampf von normaler Dichtigkeit nehmen einen Raum von $\frac{g_2}{g_0 d_2}$ Liter ein, wenn g_0 das Gewicht eines Liters Luft von normaler Dichtigkeit und d_2 die ideelle normale Dichtigkeit des Wasserdampfs bedeutet. In gleicher Weise wie oben findet man die Volumenzunahme, welche der gegebene Wasserdampf durch die Mittheilung von Q Wärme-Einheiten erleidet, zu $\frac{\alpha Q}{g_0 d_2 s_2}$ Liter.

Nun ist $s_1 = \frac{5}{21}$, $s_2 = \frac{48}{100}$ [1]). Ersetzt man noch d_2 durch seinen Werth $\frac{5}{8}$, so sieht man, dafs die Volumenzunahme der Luft durch Zuführung von Q Wärme-Einheiten $\frac{21}{5} \cdot \frac{\alpha Q}{g_0}$, die Volumenzunahme des Wasserdampfs aber unter denselben Umständen $\frac{10}{3} \cdot \frac{\alpha Q}{g_0}$ beträgt. Hat man also ein Gemenge von Luft und Wasserdampf unter dem Druck einer Atmosphäre, so wird das Volumen dieses Gemenges durch Zuführung von Q Wärme-Einheiten um mehr als $\frac{10}{3} \cdot \frac{\alpha Q}{g_0}$ Litre vergröfsert.

Wir wollen weiter untersuchen, wie grofs der leere Raum ist, welcher entsteht, wenn 1 Gramm Wasserdampf von 100° C. unter dem Druck einer Atmosphäre zu Wasser oder Eis condensirt wird, unter der Voraussetzung, dafs das entstandene flüssige oder feste Wasser den Raum Null einnimmt. Der gegebene Wasserdampf hat das Volumen $\frac{8(1+100\alpha)}{5 g_0}$ Liter. Eben so grofs ist also auch der durch die Condensation des Wasserdampfs entstehende leere Raum. Hatte aber der zu condensirende Wasserdampf unter dem Druck einer Atmosphäre eine niedrigere Temperatur als 100° C., so ist der bei seiner Condensation entstehende leere Raum kleiner als $\frac{8(1+100\alpha)}{5 g_0}$ Liter.

Wir wollen schliefslich noch die folgende Aufgabe lösen. Es sey gegeben ein Gemenge von Luft und Wasser-

1) Aus Regnault's Versuchen ergiebt sich für s_1 der Mittelwerth 0,23754, für s_2 der Mittelwerth 0,48051. (*Mémoires de l'Académie des sciences de l'Institut impérial de France*, T. *XXVI*, p. 108, 178.)

dampf unter dem Druck einer Atmosphäre und von einer Temperatur, die niedriger als 100° C. ist. Aus diesem Gemenge soll 1 Gramm Wasserdampf verschwinden. Wieviel Wärme-Einheiten müssen dem zurückbleibenden Gemenge zugeführt werden, wenn das Volumen des resultirenden Gemenges dem Volumen des anfänglichen Gemenges gleich seyn soll?

Damit die geforderte Bedingung erfüllt werde, mufs die Volumenvermehrung, welche durch die Zuführung der gesuchten Q Wärme-Einheiten entsteht, und die wir durch $\frac{10\alpha Q}{3g_0}+\frac{x}{g_0}$ bezeichnen können, gleich seyn dem durch das Verschwinden von 1 Gramm Wasserdampf entstehenden leeren Raum, welchen wir gleich $\frac{8(1+100\alpha)}{5g_0}-\frac{y}{g_0}$ setzen. Hierin bedeuten dem Obigen gemäfs x und y positive Gröfsen. Setzen wir die beiden Volume einander gleich, so ergiebt sich, dafs Q kleiner als 178 ist.

Nun wissen wir aber, dafs das luftförmige Wasser eine gewisse latente Verdampfungswärme besitzt, ohne deren Freiwerdung es nicht condensirt werden kann; wir wissen ferner, dafs diese Verdampfungswärme jedenfalls viel gröfser als 178 ist. Hieraus können wir schliefsen, dafs bei jeder Condensation von Wasserdampf innerhalb der Atmosphäre in Folge der dabei frei werdenden Wärme eine nicht unbeträchtliche Volumenvermehrung eintreten mufs.

Ueber den eben gefundenen Werth von Q will ich noch bemerken, dafs derselbe offenbar unabhängig ist von der bei seiner Ableitung gemachten Voraussetzung, nach welcher die betrachteten luftförmigen Körper sich unter dem Druck einer Atmosphäre befinden sollten. Denn bei Verminderung des Druckes vermehren sich alle diese Volume nach demselben Verhältnifs. Hieraus ergiebt sich jedoch zugleich, dafs die bei der Condensation von 1 Gramm Wasserdampf in Folge des Ueberschusses seiner latenten Wärme über 178 eintretende Volumenvermehrung mit abnehmendem Drucke wächst.

Es scheint mir hierdurch zur Evidenz gebracht zu seyn, dafs jede Condensation des in der Atmosphäre enthaltenen Wesserdampfs, welche bei der Vermengung mehrerer Luftmassen von ungleicher Temperatur stattfindet, nicht von einer Volumenverkleinerung, sondern von einer Volumenvergröfserung begleitet ist. Die numerische Angabe dieser Volumenänderung in Form eines Verhältnisses würde, wie mir scheint, eine etwas complicirte Berechnung erfordern, die ich jetzt für überflüssig halte. Ebenso scheint es mir überflüssig, auf die zahlreichen Consequenzen einzugehen, welche Mohr aus der von ihm angenommenen Vacuumbildung bei der Condensation des atmosphärischen Wasserdampfs abgeleitet hat. Denn wenn der Vordersatz, auf welchem diese Consequenzen beruhen, unrichtig ist, die Consequenzen selbst aber mit der Wirklichkeit in Einklang stehen, so liegt einige Wahrscheinlichkeit vor, dafs die Schlufsweise, vermittelst deren jene Folgerungen abgeleitet sind, eine unrichtige gewesen ist.

Berlin am 26. Februar 1864.

VIII. *Ueber eine Erscheinung am Newton'schen Farbenglase; von J. Stefan.*

(Aus d. Sitzungsber. d. K. Akad. d. Wiss. zu Wien Bd. XLIX vom Hrn. Verf. übersandt.)

Sieht man gegen das Newton'sche Farbenglas so, dafs man die Ringe deutlich sieht, und schiebt dann von der Seite ein dünnes Blättchen einer durchsichtigen Substanz, z. B. ein Glimmerblättchen vor das Auge, so dafs ein Theil der Pupille vom Blättchen vedeckt wird, der andere Theil frei bleibt; so bemerkt man auf der Seite des unbedeckten Auges am Farbenglase, entfernt von dem centralen System der Newton'schen Ringe, ein System von feinen Halbkreisen,

die anscheinend zu demselben Centrum gehören, wie die vollen Ringe. Diese Halbkreise sind abwechselnd helle und dunkle; nur wenn man ein sehr dünnes Blättchen nimmt, lassen sich an denselben Farben unterscheiden. Ich sehe von hellen Halbkreisen bei den mir zu Gebote stehenden Farbengläsern acht bis zwölf, innerhalb dieser Gränzen bewegt sich auch die Zahl der im Tageslichte sichtbaren Newton'schen Ringe. Durch ein rothes Glas hindurch sieht man mehr Halbkreise, so wie mehr Ringe.

Die Distanz der Halbkreise vom Centrum der Newton'schen Ringe ist um so gröfser, je dicker das Glimmerblättchen. Bei einem Blättchen von 0,015 Millim. Dicke sehe ich diese Halbkreise an meinem Farbenglase in einer Distanz von 17,5 Millim. vom Centrum der Newton'schen Ringe. Im homogenen Lichte der Natriumflamme sehe ich bis zu dieser Distanz 26 schwarze Ringe. Ich verwende bei den Versuchen Glimmerblättchen bis zu 0,05 Millim. Dicke, ein solches giebt die Halbkreise bereits am Rande meines Farbenglases.

Bestimmt man die Radien für die mittleren der Halbkreise, welche bei verschieden dicken Blättchen auftreten, so findet man das Gesetz, dafs sich die Radien verhalten wie die Quadratwurzeln aus den Dicken der Blättchen. Diese Bestimmung wurde so gemacht, dafs ein Blättchen in mehrere zerschnitten wurde, und zuerst ein Blättchen, dann zwei, dann drei über einander gelegte vor das Auge gebracht wurden.

Bringt man zwei Blättchen vor das Auge so, dafs ein Theil der Pupille von dem einfachen, ein Theil von dem doppelten Blättchen bedeckt ist, ein Theil aber frei bleibt, so sieht man zwei Systeme von Halbkreisen, ein System welches der Dicke des einfachen Blättchens entspricht, ein weiter entferntes System, das dem doppelten Blättchen angehört. Man kann auch noch mehr Systeme sehen, aber schon schwer.

Bedeckt man die Pupille ganz mit einem Blättchen, und schiebt ein anderes zur Hälfte darüber vor die Pupille, so

sieht man natürlich nur ein System, wie es das letztere Blättchen allein liefert.

Um die Halbkreise zu sehen, braucht man das Glimmerblättchen nicht unmittelbar vor das Auge zu halten, man kann es auch von demselben entfernt anbringen, wenn es nur in das Strahlenbüschel, welches von der Stelle, wo die Halbkreise entstehen sollen, in das Auge gelangt, von der Seite eigeschoben wird. Hält man das Blättchen nahe am Farbenglase, so entstehen keine Halbkreise mehr, sondern nur Segmente, wenn das Glimmerblättchen nicht eine der Dicke entsprechende kreisförmige Begränzung hat. Es mufs nämlich das Blättchen nicht etwa blos über die Hälfte des Farbenglases, sondern bis zur Stelle eingeschoben werden, an welcher die Halbkreise entstehen können.

Zur Erzeugung dieser Halbkreise tragen nur die Strahlen bei, welche von jenen Stellen des Farbenglases kommen, an welchen die Halbkreise entstehen. Die sichtbaren Newton'schen Ringe haben dabei nichts zu schaffen. Denn man kann diese auch mit einem undurchsichtigen Körper verdecken, man kann das ganze Farbenglas verdecken bis auf den Theil, welchen die Halbkreise einnehmen, ohne die Erscheinung zu beeinträchtigen.

Legt man zwei Spiegelplatten auf einander und drückt sie mit den Fingern an einer Stelle gegen einander, so zeigen sich um diese Stelle herum die Newton'schen Ringe. Läfst man mit dem Drucke nach, bis diese eben verschwinden und betrachtet dann die Glasplatten mit dem halb mit einem Glimmerblättchen verdeckten Auge, so gewahrt man an denselben die Nebenstreifen. Es genügt also zur Erzeugung dieser das Vorhandenseyn von Strahlen von der Dicke des Blättchens proportionalen Gangunterschieden.

Solche Halbkreise oder Nebenstreifen sieht man auch wenn man andere Interferenzerscheinungen auf die angegebene Weise betrachtet. So sieht man Halbkreise neben den Ringen, welche senkrecht zur Axe geschnittene Kalkspathplatten im Polarisationsapparate zeigen, sobald man ein Glimmerblättchen zwischen Auge und Analysator ein-

schiebt, vorausgesetzt, dafs das Gesichtsfeld des Polarisationsapparates grofs genug sey. Sieht man schief durch einen Nicol gegen eine beleuchtete Fläche, so wird das Gesichtsfeld von einem blauen oder bräunlich gelben Bogen durchsetzt, je nach der Richtung, in welcher man durch den Nicol sieht. An der äufsern Seite des gelben Bogens sieht man eine Reihe von Interferenzstreifen, welche bei geeigneter Stellung des Prismas gegen die Licht zusendende Fläche aufserordentlich lebhaft werden können. Fixirt man diese und schiebt dann von der innern Seite des Prismas ein Glimmerblättchen, so gewahrt man in weiterer Entfernung gegen den Rand des Gesichtsfeldes hin eine Reihe heller und dunkler Streifen, die aber meistens sehr matt sind, so dafs sie nicht so leicht gesehen werden können, wie die Halbkreise am Newton'schen Glase.

IX. *Ueber die erhöhte Wärmestrahlung einer mit kohlensaurem Natron überzogenen Platinplatte*; *vom Fürsten Salm-Horstmar.*

Die wichtigen Versuche von Professor Magnus über Wärmestrahlung einer mit kohlensaurem Natron überzogenen Platinplatte veranlassen mich auf folgenden Gesichtspunkt aufmerksam zu machen, welcher vielleicht zur Erklärung dieser Versuche beitragen kann.

Ich stelle die Frage: »Ob die Sache sich nicht leichter erklären lassen würde, wenn man eine Eigenschaft berücksichtigt, welche den meisten farblosen nicht-flüchtigen durchsichtigen Körpern mehr oder weniger zukommt; nämlich die Eigenschaft, in der Temperatur, welche wir Glühhitze nennen, *weniger* leuchtende Strahlen auszusenden, als die *undurchsichtigen* Körper? —«

Das Extrem dieser Eigenschaft besitzt bekanntlich das

phosphorsaure Natron welches in einer Schleife von Platindraht gehalten, im glühenden Flufs, so durchsichtig ist wie Wasser.

Diese Durchsichtigkeit wird hier *bedingt durch den Mangel* an leuchtenden Strahlen, und es dürfte daher wohl wahrscheinlich seyn, dafs solche Körper eine *um so viel gröfsere* Menge von *dunkeln* Wärmestrahlen (von gröfserer Intensität) aussenden.

Dieser Gedanke ist wohl vielleicht um so mehr gerechtfertigt, als bekanntlich *die leuchtenden* Strahlen, *viel weniger Wärme* in andern Körpern erregen, und es wird hieraus sehr einfach folgen, dafs das so sehr viele leuchtende Strahlen aussendende glühende Platina *um so viel weniger Wärme* durch seine Strahlen in andern undurchsichtigen Körpern erregen dürfte.

Auch durch die mechanische Wärmetheorie scheint meine Vermuthung gerechtfertigt zu seyn, da der Theil der Arbeitskraft, welche wir freie Wärme nennen, wohl nach Maafsgabe *ihrer Gröfse* auch Arbeit finden wird in dem äufseren Aether. Wo aber diese lebendige Kraft *nicht* in leuchtende Strahlenarbeit verwandelt werden kann, da dürfte sie wohl in der Verstärkung der Intensität der *nicht* leuchtenden Wellen der Wärmestrahlen genügende Arbeit finden bei solchen Körpern.

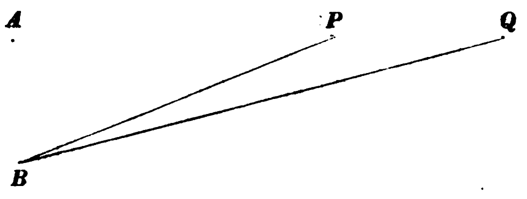
Das Spectrum solcher Körper, wie zum Beispiel das der glühenden Perle des phosphorsauren Natrons, dürfte interessant seyn, da es in soweit ein specifisches seyn würde, wenn sich finden sollte, dafs es ganz dunkel erscheint.

Bei dieser Gelegenheit wird sich jedem Physiker der Wunsch aufdringen, dafs das gewöhnliche Spectrum des Natriums, wo also *nur* die gelbe Linie erscheint, in Hinsicht *seiner dunkeln* Wärmestrahlen und deren Wirkung auf die Thermosäule, mit einem continuirlichen Spectrum des Kaliums in dieser Beziehung verglichen würde.

Den 27. October 1864.

X. *Einfaches Mittel, um den Ort eines optischen Bildes zu bestimmen; von A. Krönig.*

Wenn man mit einem Auge nach zwei Punkten sieht, die um den Gesichtswinkel Null oder doch nur um einen kleinen Gesichtswinkel von einander abstehen, so läſst sich leicht bestimmen, ob einer der beiden Punkte vom Auge weiter entfernt ist, als der andere, und welcher der entferntere ist. Man braucht nämlich nur, indem man fortfährt, nach den beiden Punkten zu sehen, das Auge senkrecht gegen die Richtung seiner Axe zu bewegen und die zugleich eintretende scheinbare Bewegung jener beiden Punkte zu beobachten. Derjenige Punkt, welcher sich in gleichem Sinne mit dem Auge bewegt, ist vom Auge am weitesten entfernt. Es sey *A* in beistehender Figur das



Auge, welches nach den beiden Punkten *P* und *Q* hinsieht. *A*, *P* und *Q* mögen in einer Geraden liegen. Nun werde das Auge von *A* nach *B* bewegt. Die beiden Punkte *P* und *Q* entfernen sich dabei um den Winkel *PBQ* von einander, und zwar scheint sich *Q* in derselben Richtung wie das Auge (etwa nach rechts) zu bewegen, *P* aber in entgegengesetzter Richtung. Umgekehrt wenn *Q* in derselben Richtung wie das Auge sich zu bewegen scheint, so folgt daraus, daſs *Q* vom Auge weiter entfernt ist als *P*.

Es sey nun ein optischer Apparat gegeben, welcher ein objectives Bild irgend eines Gegenstandes entwirft. Wenn nun das Bild nicht lichtstark genug ist, um auf einem Schirm aufgefangen werden zu können, so giebt der Satz, daſs von zwei ungleich weit entfernten Punkten der ent-

ferntere in gleichem Sinne mit dem Auge sich bewegt, ein leichtes Mittel an die Hand, um die Lage des Bildes ausfindig zu machen. Man stellt das Auge so, dafs es das Bild erblickt. Dann bringt man eine Nadelspitze entweder mit der Hand oder besser vermittelst eines festen Ständers in eine solche Lage, dafs die Nadelspitze und irgend ein bestimmter Punkt des Bildes sich decken. Darauf bewegt man den Kopf etwas zur Seite. Bewegt sich nun entweder die Nadelspitze oder der fixirte Punkt des Bildes in dem Sinne wie das Auge, so ist dieser Punkt vom Auge weiter entfernt, als der andere, welcher sich in entgegengesetzter Richtung mit dem Auge bewegt. Durch successives Verschieben der Nadelspitze findet man leicht den Ort auf, an welchem die Nadelspitze bei einer Bewegung des Auges mit dem betrachteten Punkte des Bildes in Coïncidenz bleibt. Diefs ist zugleich der Ort des Bildes. Wenn die Nadelspitze, nachdem man sie dem spiegelnden oder dem brechenden Apparat bis zur Berührung genähert hat, noch immer dem Auge entgegengesetzt sich bewegt, so folgt, dafs das betrachtete Bild kein objectives, sondern ein subjectives ist.

Um dasselbe Verfahren auf subjective Bilder auszudehnen, hätte man wohl zuerst experimentell und direct nachzuweisen, dafs das von einem ebenen Spiegel erzeugte Bild den bisher angenommenen Ort wirklich einnimmt. Man könnte zu diesem Zwecke zwei gleiche durch Gewichte vertical gespannte Fäden benutzen und einen ebenen Spiegel ohne Rand so einstellen, dafs das gespiegelte Stück des einen Fadens mit den direct gesehenen Theilen des anderen Fadens bei jeder Stellung des Auges in einer geraden Linie zusammenfällt.

Nachdem auf diese Weise der Ort des von einem Planspiegel entworfenen Bildes festgestellt ist, wird die Auffindung der Lage anderer subjectiver Bilder vermittels einer zugleich durchsichtigen und spiegelnden planparallelen Platte zu ermöglichen seyn, in welcher ein leuchtender Punkt sich spiegelt. Die Platte ist so einzustellen, dafs das gespiegelte

Bild des leuchtenden Punktes mit einem Punkte des betrachteten Bildes zur Deckung gelangt. Ein Gehülfe mufs den leuchtenden Punkt so lange verschieben, bis das gespiegelte und das gebrochene Bild bei jeder Bewegung des Auges sich nicht mehr gegeneinander bewegen. Dann ist die direct mefsbare Entfernung des gespiegelten Punktes von der planparallelen Platte gleich der gesuchten Entfernung des durch den optischen Apparat hervorgebrachten subjectiven Bildes von derselben Platte.

Berlin, am 29. November 1864.

XI. *Geifsler's Maximumthermometer.*

Bereits im vorigen Jahre zeigte Prof. Dove der Akademie das vom Mechanikus Geifsler hierselbst construirte neue Maximumthermometer vor und gab darüber in den Monatsberichten von 1863 folgende Notiz.

»Das von Casella in London construirte Minimumthermometer, bei welchem das Quecksilber sich bei der Zunahme der Wärme in ein birnförmiges in einer capillaren Oeffnung endigendes Gefäfs, welches in einen Nebencanal der Hauptröhre mündet, ausdehnt, bei Wärmeabnahme hingegen in der Hauptröhre sich zusammenzieht, hat Hrn. Geifsler veranlafst, dieses ingeniöse Princip auf die Construction eines Maximumthermometers anzuwenden [1]). Denkt man sich ein gewöhnliches Thermometer in der Nähe der Kugel zerschnitten und beide getrennte Enden in feine Capillaröffnungen ausgezogen, die, ähnlich wie bei dem Bunsen'schen Barometer, durch einen weiteren angeschmolzenen Cylinder dann wieder vereinigt werden, so dehnt sich bei horizontaler Lage des Instruments das Quecksilber in

1) Verschieden von dem von Negretti und Zambra construirten (Ann. Bd. XCIX, S. 336).

der langen Thermometerröhre aus, verläſst aber bei der Zusammenziehung diese nicht, sondern bleibt in der konischen Verengerung haften, wodurch das andere Ende des Quecksilberfadens das stattgefundene Maximum anzeigt«.

Zur näheren Erläuterung dieser Construction sind beide Instrumente auf Taf. I abgebildet worden. Fig. 9 zeigt das Casella'sche Minimumthermometer, Fig. 10 das Geiſsler'sche Maximumthermometer. Hinzugefügt mag seyn, daſs Hr. Geiſsler im Laufe der Zeit an seinem Instrumente eine kleine Abänderung angebracht hat, da es, wenigstens an einigen Exemplaren vorgekommen ist, daſs sie, nachdem sie ihren Dienst längere Zeit hindurch vortrefflich erfüllt hatten, denselben aus unerklärlichem Grund versagten, indem das Quecksilber sich beim Sinken der Temperatur nicht an der capillaren Stelle trennte und folglich in der Röhre zurückging. Er bringt nämlich oberhalb der besagten Stelle eine kugelförmige Erweiterung an, die bis auf ein mikroskopisches Luftbläschen mit Quecksilber gefüllt ist, biegt den Hals der Kugel herab, und zieht denselben etwa in der Mitte so aus, daſs daselbst der Quecksilberfaden nur ungefähr halb so dick ist wie in dem übrigen Theil der Röhre. Bei dieser Einrichtung soll der genannte Uebelstand nicht so leicht vorkommen. Es versteht sich übrigens von selbst, daſs nach jedem beobachteten Maximum, das Thermometer aufgerichtet werden muſs, damit das an der verdickten Stelle getrennte Quecksilber sich wieder vereinige.

XII. *Musikalische Töne, erzeugt durch Kohle.*

Ein Glasstab, an einen Faden aufgehängt und mit einem Hammer geschlagen, giebt bekanntlich einen schönen Ton. Dasselbe ist, nach des Dr. T. L. Phipson's Beobachtun-

gen [1]), der Fall mit Phonolith, verschiedenen Arten Feuerstein, und einigen anderen Mineralien. Unter den elementaren Körpern ist in dieser Beziehung keiner merkwürdiger als das Aluminium. Ein Stab desselben, an einem Faden hängend, giebt auf einen Hammerschlag einen musikalischen Ton wie Glas. Dasselbe ist der Fall mit compacter homogener Holzkohle. Am besten gelang der Versuch mit einem Stück von 11 Zoll Länge, 0,5 Zoll Dicke und 82,05 Grm. Gewicht. Es gab das hohe C. Wie es scheint hat sich vor einigen Jahren in Astley's Theater ein Künstler auf einem Instrumente hören lassen, das aus aufgehängten Kohlenstücken von verschiedenen Dimensionen bestand [2]).

XIII. *Lithionreiche Mineralquelle,*

In der Nähe von Redrutte in Cornwall ist neuerlich eine heiſse Mineralquelle entdeckt, die wohl die reichste an Lithion seyn dürfte, welche man bisher kennt. Ihr Wasser bricht aus einer Tiefe von etwa 230 Faden hervor, besitzt eine Temperatur von 50° C. sowie eine Dichte von 1,007 bei 15° C., und liefert innerhalb 24 Stunden ungefähr 400 Kilogrm. Chlorlithium.

Nach der Analyse des Prof. W. A. Miller enthält das Wasser in einem Gallon (4,543 Liters):

1) *Report of the* 33th *meeting of the British Association etc. Notices p.* 50.

2) Es mag hiebei auch an die alte von Lémery entdeckte und von Réaumur bestätigte Thatsache erinnert seyn, daſs selbst das Blei, wenn es die Gestalt einer plan-convexen Linse (etwa von 3 Zoll Durchmesser und 4 bis 5 Linien Dicke) hat und mit der convexen Fläche aufliegt, beim Daranschlagen einen musikalischen Ton giebt (*Mém. de l'acad. de Paris* 1726, *p.* 243.) P.

	Grains
Chlorkalium	14,84
Chlorlithium	26,05
Chlornatrium	363,61
Chlormagnesium	8,86
Chlorcalcium	216,17
Schwefelsauren Kalk	12,27
Kieselsäure	3,65
	645,45

nebst Spuren von Chlorcesium, Eisenoxyd, Manganoxyd und Thonerde. Dieselbe Quantität enthält aufserdem 8,91 Kubikzoll Gas bestehend aus 1,89 Kohlensäure, 1,72 Sauerstoff und 5,30 Stickstoff. (Dr. Phipson im Cosmos, Vol. XXV, S. 443),

---

Gedruckt bei A. W. Schade in Berlin, Stallschreiberstr. 47.

Namenregister

zum

Jahrgang 1864.

(Die Bände 121, 122, 123 sind durch I, II, III bezeichnet.)

A.

B.

C.

D.

E.

F.

G.

H.

I. J.

K.

L.

M.

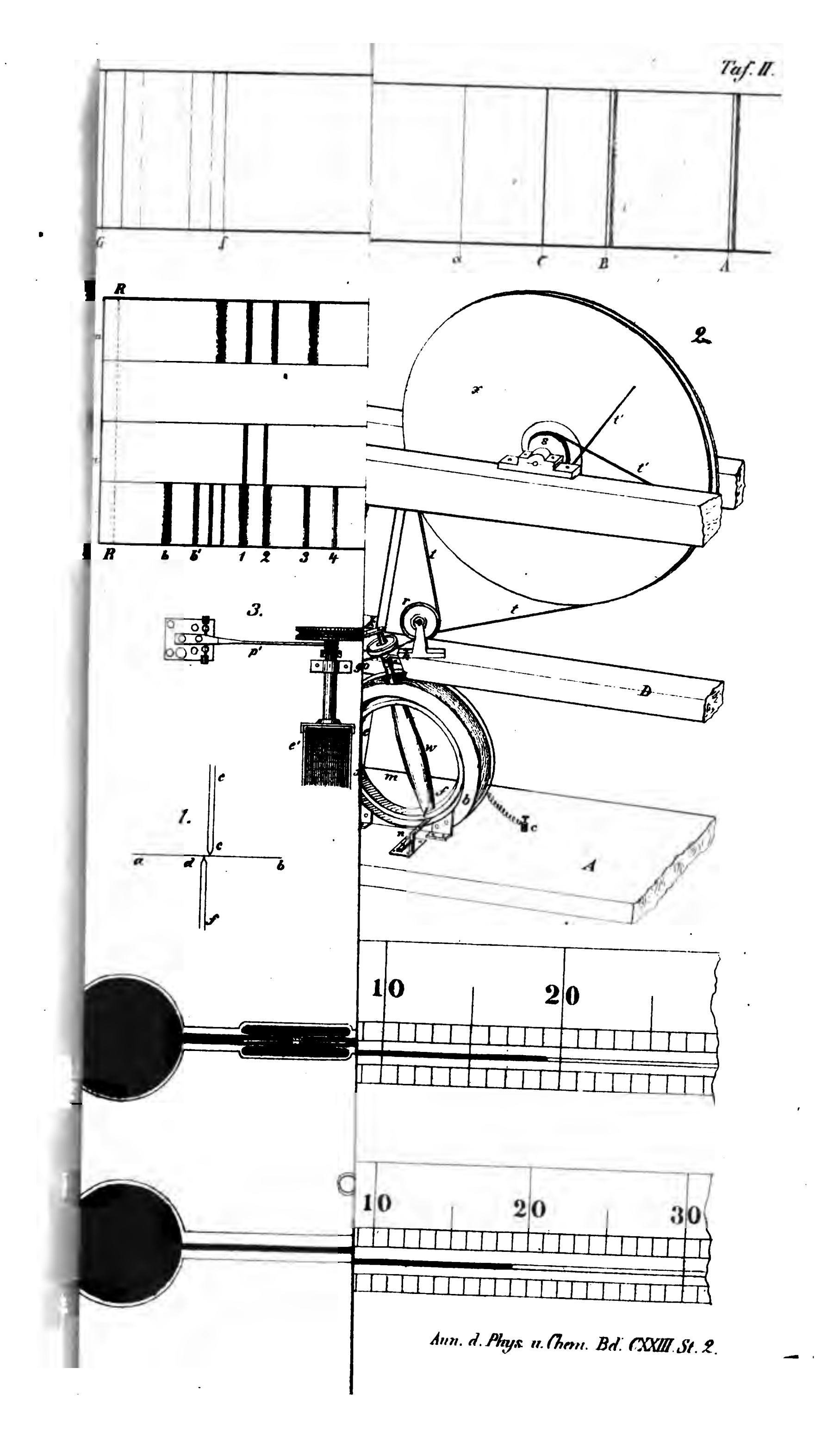
S.

T.

V.

W.

Z.



G
f
a
C
B
A
R
R
b
b'
1
2
3
4
2.
x
t'
t'
s
t
t
r
D
3.
p'
e'
w
m
n
c
A
1.
e
c
a
d
b
f
10
20
10
20
30

